



**THM**

TECHNISCHE HOCHSCHULE MITTELHESSEN

**CAMPUS  
FRIEDBERG**

**IEM**

Informationstechnik-  
Elektrotechnik-Mechatronik

# **Workflow-Untersuchung der Erzeugung von Architektur-3D-Modellen aus 2D-Unterlagen**

Studiengang Medieninformatik

## **Bachelorarbeit**

vorgelegt von

**Sarah Lisa Deborah Rey**

geb. in Tübingen

durchgeführt am

Planungsbüro Bühler und Partner, Tübingen

Referent der Arbeit: Prof. Dr. Cornelius Malerczyk  
Korreferent der Arbeit: M. Sc. Hans-Christian Arlt  
Betreuer: Dipl. Ing. Wolfgang Bühler

Friedberg, 2022



# Vorwort

Um den Lesefluss der folgenden Arbeit nicht einzuschränken, wird im Text der generische Maskulin verwendet. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass das feminine und anderweitige Geschlechter in gleichem Maß angesprochen werden, soweit es für die Aussage erforderlich ist.



# Danksagung

Ich bedanke mich herzlich für die Möglichkeit, meine Thesis in Zusammenarbeit mit dem Planungsbüro Bühler und Partner in Tübingen absolviert haben zu können. Mein Dank geht vor allem an Herrn Bühler, der meine Arbeit in jedem Sinne unterstützte und mir viel Verantwortung übertrug. Neben diesem geht mein Dank an den Bauherren, der mir gestattete, sein Bauvorhaben und die erzeugten Baugesuchsunterlagen im Rahmen der Arbeit verwenden zu dürfen.



# Selbstständigkeitserklärung

Ich erkläre, dass ich die eingereichte Bachelorarbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Tübingen, Juni 2022

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'SRey', with a stylized flourish at the end.

Sarah Rey





# Inhaltsverzeichnis

|   |            |
|---|------------|
| <b>Vorwort</b>  | <b>i</b>   |
| <b>Danksagung</b>   | <b>iii</b> |
| <b>Selbstständigkeitserklärung</b>                            | <b>v</b>   |
| <b>Inhaltsverzeichnis</b>                                     | <b>vii</b> |
| <b>Abbildungsverzeichnis</b>                                  | <b>xi</b>  |
| <b>1 Einleitung</b>   | <b>1</b>   |
| 1.1 Problemstellung . . . . .                                 | 2          |
| 1.2 Motivation . . . . .                                      | 3          |
| 1.3 Methodik und Ziel . . . . .                               | 4          |
| 1.4 Aufbau der Arbeit . . . . .                               | 4          |
| <b>2 Theoretische Grundlagen</b>                              | <b>7</b>   |
| 2.1 Historischer Hintergrund . . . . .                        | 7          |
| 2.2 Architektur heute . . . . .                               | 9          |
| 2.2.1 Beteiligte . . . . .                                    | 10         |
| 2.2.2 Bauvorhaben . . . . .                                   | 12         |
| Bauen im Bestand . . . . .                                    | 12         |
| 2.2.3 Honorarordnung für Architekten und Ingenieure . . . . . | 13         |
| 2.2.4 Kosten im Bauwesen . . . . .                            | 15         |
| Kostenschätzung . . . . .                                     | 16         |
| Kostenberechnung . . . . .                                    | 16         |
| 2.2.5 Architektonisches Entwerfen . . . . .                   | 16         |
| Digitales Entwerfen . . . . .                                 | 17         |
| 2.3 Computer Aided Design . . . . .                           | 18         |
| 2.3.1 Grundlagen . . . . .                                    | 19         |
| Parametrisierung . . . . .                                    | 20         |
| Intelligente Objekte . . . . .                                | 21         |
| Austauschformate . . . . .                                    | 22         |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>3</b> | <b>Stand der Forschung und Technik</b>                              | <b>23</b> |
| 3.1      | Vor der Jahrtausendwende . . . . .                                  | 23        |
| 3.2      | Neuere Forschung . . . . .  | 27        |
| 3.2.1    | CAD-Software . . . . .  | 28        |
| 3.2.2    | Building Information Modeling . . . . .                             | 29        |
|          | 4D, 5D, 6D . . . . .  | 31        |
| 3.3      | Zwischenfazit . . . . .   | 32        |
| <b>4</b> | <b>Grundlagenermittlung und Vorplanung</b>                          | <b>33</b> |
| 4.1      | Ländliche Bauform . . . . .   | 34        |
| 4.2      | Objektbeschreibung . . . . .  | 35        |
| 4.3      | Bauvorhaben . . . . .   | 44        |
| 4.4      | Die Bestandserfassung . . . . .                                     | 45        |
| 4.4.1    | Ortsbesichtigung und Aufmaß . . . . .                               | 46        |
| 4.4.2    | Theoretisches Vorgehen zur Erzeugung eines 3D-CAD-Modells . . . . . | 46        |
| <b>5</b> | <b>Entwurf und Genehmigungsplanung</b>                              | <b>49</b> |
| 5.1      | Workflow in Vectorworks . . . . .                                   | 49        |
| 5.1.1    | Ebenen und Geschosse . . . . .                                      | 50        |
| 5.1.2    | Klassen . . . . .   | 52        |
| 5.1.3    | Import der Bestandspläne . . . . .                                  | 54        |
| 5.1.4    | Wände . . . . .   | 55        |
| 5.1.5    | Wandöffnungen . . . . .   | 59        |
| 5.1.6    | Decken und Böden . . . . .  | 65        |
| 5.1.7    | Treppen . . . . .   | 67        |
| 5.1.8    | Bedachung . . . . .   | 68        |
| 5.1.9    | Möblierung und Sanitär . . . . .                                    | 69        |
| 5.1.10   | Raumstempel . . . . .   | 73        |
| 5.1.11   | Bemaßung . . . . .  | 76        |
| 5.1.12   | Layoutebenen und Planableitungen . . . . .                          | 77        |
| 5.2      | Erzeugter Plansatz . . . . .  | 82        |
| <b>6</b> | <b>Ergebnisse der Workflow-Untersuchung</b>                         | <b>85</b> |
| 6.1      | Vor- und Nachteile . . . . .  | 85        |
| 6.1.1    | Vorteile . . . . .  | 85        |
| 6.1.2    | Nachteile . . . . .   | 87        |
| 6.2      | Besonderheiten und Grenzen . . . . .                                | 88        |
| 6.3      | Möglichkeiten . . . . .   | 89        |
| 6.4      | Einsatzszenarien . . . . .  | 89        |
| <b>7</b> | <b>Zusammenfassung und Ausblick</b>                                 | <b>91</b> |
| 7.1      | Zusammenfassung . . . . .   | 91        |
| 7.2      | Ausblick . . . . .  | 92        |

|                              |            |
|------------------------------|------------|
| <b>A Bauantrag</b>           | <b>95</b>  |
| <b>Abkürzungsverzeichnis</b> | <b>107</b> |
| <b>Literaturverzeichnis</b>  | <b>109</b> |



# Abbildungsverzeichnis

|      |   |    |
|------|---|----|
| 1.1  | 3D-Modell . . . . .                     | 3  |
| 2.1  | Santa Maria del Fiore . . . . .         | 8  |
| 2.2  | Semperoper . . . . .                    | 9  |
| 2.3  | Reissbrett . . . . .                    | 18 |
| 3.1  | Sketchpad . . . . .                     | 24 |
| 3.2  | 3D-Rekonstruktion . . . . .             | 25 |
| 3.3  | Ergebnis Laserscan . . . . .            | 28 |
| 4.1  | Fachwerk . . . . .                      | 34 |
| 4.2  | Hausinschrift . . . . .                 | 35 |
| 4.3  | Baugesuch 1897 . . . . .                | 36 |
| 4.4  | Baugesuch 1899 . . . . .                | 37 |
| 4.5  | Außenansicht . . . . .                  | 38 |
| 4.6  | Erschließung des Gebäudes . . . . .     | 39 |
| 4.7  | Wohnhaus . . . . .                      | 40 |
| 4.8  | Scheune . . . . .                       | 41 |
| 4.9  | Stall . . . . .                         | 42 |
| 4.10 | Pfettendach . . . . .                   | 43 |
| 4.11 | Einschubbalkendecke . . . . .           | 44 |
| 5.1  | Werkzeuggruppen . . . . .               | 50 |
| 5.2  | Konstruktionsebenen . . . . .           | 51 |
| 5.3  | Konstruktionsebene bearbeiten . . . . . | 51 |
| 5.4  | Geschosse . . . . .                     | 52 |
| 5.5  | Kontextmenü Geschoss . . . . .          | 52 |
| 5.6  | Klassenübersicht . . . . .              | 53 |
| 5.7  | Klasse bearbeiten . . . . .             | 53 |
| 5.8  | Import . . . . .                        | 54 |
| 5.9  | Skalierung des Bestandsplans . . . . .  | 55 |
| 5.10 | Wände . . . . .                         | 56 |
| 5.11 | Wände nach 1. Aufmaß . . . . .          | 56 |
| 5.12 | Informationsbox Wand . . . . .          | 57 |
| 5.13 | Wandschichten . . . . .                 | 58 |

|      |  |    |
|------|--|----|
| 5.14 | Einstellungen Wandschicht . . . . .      | 58 |
| 5.15 | Schichten . . . . .                      | 59 |
| 5.16 | Basiseinstellungen Wand . . . . .        | 60 |
| 5.17 | Wandanschluss . . . . .                  | 61 |
| 5.18 | Attribute 2D . . . . .                   | 61 |
| 5.19 | Material . . . . .                       | 62 |
| 5.20 | Fenster und Tür . . . . .                | 63 |
| 5.21 | Pfosten-Riegel-Konstruktion . . . . .    | 64 |
| 5.22 | Modellierte Elemente . . . . .           | 65 |
| 5.23 | Decke EG . . . . .                       | 66 |
| 5.24 | Terrasse . . . . .                       | 66 |
| 5.25 | Kontextmenü Treppe . . . . .             | 67 |
| 5.26 | Treppe . . . . .                         | 68 |
| 5.27 | Dachfläche anlegen . . . . .             | 69 |
| 5.28 | Dachflächen . . . . .                    | 69 |
| 5.29 | Zubehör-Manager . . . . .                | 70 |
| 5.30 | Informationsbox Symbol Tisch . . . . .   | 71 |
| 5.31 | Esstisch . . . . .                       | 71 |
| 5.32 | Essbereich . . . . .                     | 72 |
| 5.33 | Möblierung . . . . .                     | 72 |
| 5.34 | Kontextmenü Raumstempel . . . . .        | 73 |
| 5.35 | Raumstempel . . . . .                    | 74 |
| 5.36 | Tabelle Fenster . . . . .                | 75 |
| 5.37 | Filter und Spalten Objektliste . . . . . | 75 |
| 5.38 | Automatische Bemaßung . . . . .          | 76 |
| 5.39 | Maßketten . . . . .                      | 77 |
| 5.40 | Kotenbemaßung . . . . .                  | 78 |
| 5.41 | Renderstile . . . . .                    | 79 |
| 5.42 | Übersicht Layoutebenen . . . . .         | 80 |
| 5.43 | 2D-Ergänzungen . . . . .                 | 81 |
| 5.44 | Finales 3D-Modell . . . . .              | 82 |
| 5.45 | Publizieren . . . . .                    | 83 |

# Kapitel 1

## Einleitung

„*Omnia mutantur, nihil interit.*“ Alles ändert sich, nichts geht verloren [NA94, XV, Z. 165]. Diese Weisheit mag schon über 2000 Jahre alt sein, ihr Wahrheitsgehalt bleibt hingegen bestehen. Wie bereits der antike Dichter Ovid feststellte, verschwinden gewisse Dinge nicht, sondern unterliegen einem Wandel. Damals war in einer fiktiven Rede des Pythagoras die Seelenwanderung gemeint, dies lässt sich aber auch auf die heutige Zeit übertragen. Wir leben in einem sich ständig verändernden, durch Forschung und Innovationen vorangetriebenen Jahrhundert. Die technischen Fortschritte, die die Digitalisierung mit sich bringt, sind in den meisten Sektoren nicht mehr wegzudenken. Viele Arbeitsprozesse laufen inzwischen automatisiert, wodurch Arbeitsplätze teilautomatisiert oder reduziert werden. Der Computer ist neben dem Telefon einer der wichtigsten Bestandteile im Berufsalltag vieler Arbeitnehmer geworden.

Aus einer Studie zum *Digital Office Index 2020*<sup>1</sup> ergab sich, dass 74 Prozent der Unternehmen in Deutschland aus verschiedenen Sektoren ab einer Größe von 20 Mitarbeitern eine Digitalisierungsstrategie besitzen. Man setzt auf digitale Kommunikation, elektronische Rechnungen und 71 Prozent der befragten Unternehmen vermerkten hierdurch eine gesteigerte Kundenzufriedenheit [BR22, S. 8-10]. Insbesondere Ausnahmesituationen wie die Lockdowns<sup>2</sup> im Rahmen der Corona-Pandemie<sup>3</sup> waren eine große Herausforderung, die die Nutzung von kontaktlosem Bezahlen, Home-Office und Online-Unterricht immens vorantrieb. Viele Unternehmen investierten daher zunehmend in Hardware und Software [BR22, S. 9].

Auch die Deutsche Bauindustrie wandelt sich, doch leider schleppend. Steigerte sich die Produktivität der Gesamtwirtschaft in Deutschland seit 1995 um 1,32 Prozent, so liegt das Baubranchenwachstum jährlich gerade einmal bei 0,26 Prozent (Stand 2017) [MC17]. Durch die gestiegenen Anforderungen und die Komplexität, denen Planungsaufgaben derzeit unterliegen sowie die Fragmentierung, die sich vor allem bei den am Bau Beteiligten widerspiegelt, besteht Handlungsbedarf. Die Digitalisierung bietet für dieses Problem eine adäquate Lösung

---

<sup>1</sup><https://www.bitkom.org/doi-2020>. Abgerufen am 30.06.2022.

<sup>2</sup>Einschränkungsrichtlinie, die verhindert, dass Risiken für die eigene Person oder Andere entstehen, wenn man sich frei außerhalb des eigenen Zuhauses bewegen würde.

<sup>3</sup><https://www.bundesgesundheitsministerium.de/coronavirus/chronik-coronavirus.html>. Abgerufen am 30.06.2022.

[Kra20, S. 49]. Durch die Generierung und Verarbeitung digitaler Informationen stehen der Architektur neue und umfassendere Möglichkeiten als je zuvor zur Verfügung, bei denen die Grundlage die Computergraphik bildet [Hen04]. Gerade diese Möglichkeiten müssen ganz ausgeschöpft, interne Abläufe auf neue Werkzeuge und Methoden ausgerichtet werden, um größtmöglich von der Digitalisierung zu profitieren [Kra20, S. 49].

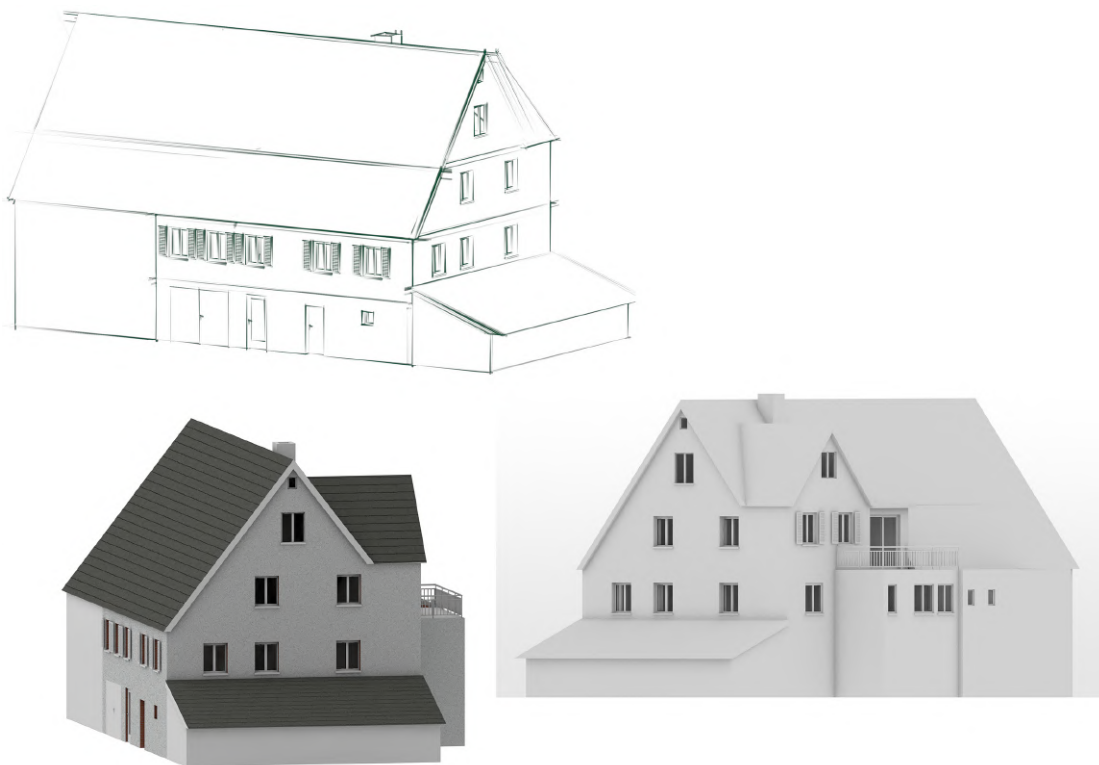
### 1.1 Problemstellung

In den sechziger Jahren kam vermehrt das computergestützte Design (Computer Aided Design) auf, bei dem das Ziel der Entwicklung besonders die Konstruktion war. Diese Art des Entwerfens nutzen überwiegend Ingenieure und Architekten. Der traditionelle Entwurfsprozess auf Butterbrotpapier am Reißbrett war nicht nur zeitintensiv und somit defizitär, sondern auch schleppend und von Fehlern gekennzeichnet, die nicht durch einfache Befehle auf der Tastatur rückgängig gemacht werden konnten. Dieser Vorgang wurde durch entsprechende CAD-Software ersetzt, die diesen Vorgang am Computer ermöglicht. Ab den siebziger Jahren waren CAD-Systeme bereits weit verbreitet und auch die Film- und Werbeindustrie sahen ihren Nutzen in der Computergraphik, für deren Umsetzung man damals noch qualifizierte Wissenschaftler benötigte [Mor98, S. 30f.]. Inzwischen findet sich in jedem Architekturbüro die benötigte Hard- und Software, um mit dem Computer zu Entwerfen und zu Planen.

Der Fokus vieler Architektur- und Planungsbüros liegt aktuell hingegen wie bereits in den neunziger Jahren auf der bewährten Erzeugung von 2D-CAD-Dateien und weniger auf der Erstellung von 3D-CAD-Modellen mit intelligenten, parametrisierten Objekten [Shi96, S. 283]. Diese Vorgehensweise im zweidimensionalen Raum besteht lediglich aus einer Ansammlung von Polygonen, Linien und Bögen. Aus einem 3D-Modell können hingegen Fehler während der Planung detektiert werden (Kollisionsprüfung), es können Bauteillisten abgegeben werden und Ableitungen (Schnitte, Ansichten und Grundrisse) erzeugt werden. Um effizient arbeiten zu können und den maximalen Nutzen aus einem CAD-Modell zu ziehen, bietet sich das Arbeiten im 3D-Raum förmlich an. Aus dem 3D-Modell können zudem Architektur-Visualisierungen in Form von Renderings [Abb. 1.1] erzeugt werden und sogar virtuelle Begehungen realisiert werden. Hierbei handelt es sich nur um einen Auszug der vielen Möglichkeiten, die dem Planer geboten werden. Das Endergebnis des Entwurfs- und Planungsprozesses, obgleich er traditionell von Hand oder digital vollzogen wird, bleibt ein identischer Plan mit seinen Richtlinien und Anforderungen, allerdings besteht zwischen dem Prozess und den Ergebnissen in 2D und 3D ein bedeutender Unterschied.

Dennoch kommt es zu einigen Herausforderungen, den Schritt von handgezeichnetem oder in CAD gezeichnetem Zweidimensionalem zu einem parametrischen, dreidimensionalen Modell zu gehen. Deshalb scheuen sich noch heute einige Architekturbüros diesen zu wagen. Gründe hierfür sind vor allem die vermeintlich zeitintensive Erzeugungsdauer eines 3D-Modells, eine erhöhte Einarbeitungszeit der Mitarbeiter sowie zusätzliche Kosten für weiterbildende Maßnahmen und zu guter Letzt die Hardwarekosten [Prz17, S. 14].





**Abbildung 1.1:** Isometrien eines parametrischen 3D-Modells in verschiedenen Renderstilen.

## 1.2 Motivation

Die Motivation der Ausarbeitung bietet der spärliche Fundus an Literatur bezüglich des Vorgehens der Erzeugung eines Architektur-3D-Modells aus 2D-Unterlagen<sup>4</sup>. Gewiss findet sich eine Vielzahl an Publikationen, die das CAD betreffen, jedoch nicht solche, die genau beschreiben, wie vorzugehen ist und die möglichen Werkzeuge dafür einzusetzen sind. Durch die Auswertung des Arbeitsablaufs soll dem Leser nahegelegt werden, wie die 3D-Modellierung in einer CAD-Umgebung sinnvoll angewendet und zu dem eigenen Vorteil ausgenutzt werden kann. Da auch heute noch Planungsbüros in 2D arbeiten<sup>5</sup>, basierend auf der Illusion, dass der Entwurfs- und Planungsprozess auf diesem Wege vermeintlich schneller umgesetzt werden kann, besteht Bedarf an einer aktuellen Betrachtung dieser expliziten Problematik und der Vorstellung eines Lösungsansatzes.

---

<sup>4</sup>s. Kapitel 3

<sup>5</sup><https://blog.allplan.com/de/wechsel-von-2d-cad-zu-3d-und-bim-fuer-architekten>. Abgerufen am 30.06.2022.

### 1.3 Methodik und Ziel

Im Rahmen der Thesis wird der Workflow<sup>6</sup> der Erzeugung von Architektur-3D-Modellen aus reinen 2D-Unterlagen untersucht, der den Kernpunkt der Arbeit bildet. Als prototypisches Beispielprojekt dient hierfür die Modernisierung eines bestehenden, denkmalgeschützten Bauernhauses mit Scheune im Landkreis Tübingen. Für dieses liegen von Hand gefertigte Pläne aus dem letzten Jahrhundert vor, welche ungenau und nicht maßstabsgetreu sind. Hinzu kommt, dass oftmals ein falscher Ist-Zustand abgebildet wird, der bereits vorgenommene Umbaumaßnahmen unbeachtet lässt. Im Rahmen des Bauantrages, der für den Bauherrn beim zuständigen Amt eingereicht wurde, wurde ein 3D-Modell und die benötigten Pläne aus ebendiesem erzeugt. Dieses Vorhaben wurde mit Hilfe der CAD-Software *Vectorworks 2022*<sup>7</sup> realisiert. Aus der nachfolgenden Untersuchung des Workflows wird der Prozess mit seinen Vor- und Nachteilen der 3D-Modellierung gegenüber der in 2D, seinen Besonderheiten, aber auch seinen Grenzen beschrieben. Es werden weitere Möglichkeiten des CAD in der Architektur aufgezeigt und Gründe geliefert, weshalb von Beginn an im Dreidimensionalen Raum gearbeitet werden sollte und welche Türen dem Architekten sowie den am Bau Beteiligten damit offen stehen. Das Ziel der Arbeit ist somit die Beantwortung der Ausgangsfrage, ob grundsätzlich in einem Architekturbüro in 3D gearbeitet werden sollte und wie bei einer Nutzungsänderungsmaßnahme eines bestehenden Gebäudes vorzugehen ist.

### 1.4 Aufbau der Arbeit

Grundlegend teilt sich die Arbeit in drei Hauptkomponenten auf. Zum einen in die Grundlagen, den Workflow und dessen Untersuchung.

Kapitel 2 widmet sich den Theoretischen Grundlagen. Es ist wichtig, ein grundlegendes Wissen für den Nicht-Architekten und Fachfremden aufzubauen. Nach einem kurzen historischen Rückblick wird die Architektur vorgestellt. Dies geschieht in dem Unterkapitel 2.2. Der Begriff Architektur wird definiert, die Beteiligten, mögliche Bauvorhaben und das Bauen im Bestand werden eingeführt. Das Aufgabenfeld der Arbeit eines Architekten wird an Hand der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI)<sup>8</sup> vorgestellt, wobei insbesondere auf die ersten fünf Leistungsphasen näher eingegangen wird. Natürlich ist auch die Architektur wie andere Fächer geprägt von Normen, Vorschriften und Regeln. Die DIN-Norm<sup>9</sup> legt nicht nur fest, welche Maße ein DIN-A4-Blatt hat, sondern schafft darüber hinaus die Basis für die Planung und das Entwerfen im Bausektor. Diese wird präsentiert und ihre Bedeutung wird aufgezeigt. Als weiteren Punkt werden die Kosten im Bauwesen angeschnitten, wobei auf zwei dieser in Kapitel 2.2.4 näher eingegangen wird. Als letzten Unterpunkt der Theoretischen Grundlagen der Architektur wird das Architektonische Entwerfen vorgestellt, bei dem die Abgrenzung zu der Planung verdeutlicht wird.

Das nächste Unterkapitel 2.3 bildet das Computer Aided Design. Der Begriff wird definiert und die Möglichkeiten aufgezeigt, die sich daraus ergeben. CAD fand seine Anfänge in den

---

<sup>6</sup>Arbeitsablauf

<sup>7</sup><https://www.computerworks.de/produkte/vectorworks/2022/index.php>. Abgerufen am 30.06.2022.

<sup>8</sup><https://www.hoai.de/hoai/volltext/hoai-2021/>. Abgerufen am 30.06.2022.

<sup>9</sup><https://www.din.de/de>. Abgerufen am 30.06.2022.

1960er Jahren mit der Etablierung der Computergraphik sowohl in der Archäologie als folglich auch in der Architektur. Gleichwohl es sich dabei nicht um eine Grundlagenverschaffung über das Thema der Computergraphik handelt, zeigt dieser Abschnitt jedoch auf, inwiefern dieses mit der Architektur in Zusammenhang steht. Die wichtigsten Aspekte des CAD wie der Parametrisierung und intelligenten Objekten werden nach einer Grundlagenvermittlung der Modelliermethoden aufgezeigt.

Kapitel 3 befasst sich mit dem Stand der Forschung und Technik in chronologischer Reihenfolge. Das chronologische Vorgehen erwies sich als sinnvoll, da die Entwicklungen vermehrt aufeinander aufbauen. Bezüge untereinander können hiermit deutlicher aufgezeigt werden. In zwei Unterkapiteln gliedert sich die Forschung in jene vor der Jahrtausendwende und in die neuere Forschung nach der Jahrtausendwende. Es werden die wichtigsten und aussagekräftigsten Werke vorgestellt. Zudem werden im Rahmen dieses Unterkapitels die digitale Bestandserfassung und die gängigsten Softwares vorgestellt, darunter auch das für den praktischen Teil verwendete Programm Vectorworks 2022. Zudem wird das Gebiet der Building Information Modelling (BIM) betrachtet. Dabei wird der Begriff erklärt und auf dessen Merkmale eingegangen. Bei dieser Methode handelt es sich um eine mögliche Lösung für den Rückstand des Bausektors gegenüber denen anderer Länder. Zusätzlich werden die mit BIM einhergehenden 4D-, 5D-, und 6D-Modellierungen angeschnitten. Abschließend folgt ein kurzes Fazit, das die Legitimation der Ausarbeitung zusammenfasst.

Darauf aufbauend folgt der Methodik-Teil der Arbeit. Dieser untergliedert sich in zwei Kapitel, die Grundlagenermittlung und Vorplanung (Kapitel 4) zum einen und zum anderen in den Entwurf und die Genehmigungsplanung (Kapitel 5). Im Rahmen der Grundlagenermittlung und Vorplanung wird das Beispiel-Projekt vorgestellt, sowie detailliert beschrieben. Das Bauvorhaben wird erläutert und greift in das Vorgehen der Bestandserfassung. Bei diesem Unterpunkt wird auf die Ortsbesichtigung und das manuelle Aufmaß eingegangen, um anschließend in ein theoretisches Vorgehen zur Erzeugung eines 3D-Bestandsmodells zu münden, das um die Änderungen der Baumaßnahme ergänzt wird. Als Exemplum dient die Modernisierung eines alten Bauernhauses mit Scheune im Landkreis Tübingen.

In dem folgenden Kapitel des Entwurfs und der Genehmigungsplanung wird die Erzeugung des parametrischen 3D-Modells in der CAD-Software Vectorworks 2022 beschrieben. Dabei werden die wichtigsten Abschnitte genauer betrachtet. Nennenswert ist dabei, dass es sich hierbei nicht um ein Handbuch oder eine detaillierte Vorgangsanweisung handelt. Es soll lediglich einen Einblick bieten und die wichtigsten Teilschritte aufzeigen. Zudem lassen sich die einzelnen Schritte in anderweitiger Reihenfolge ausführen. Es wird explizit auf Vollständigkeit verzichtet, da dies den Rahmen der Arbeit überschreiten würde. Abschließend wird der erstellte Plansatz vorgestellt, der sich in Anhang A befindet.

Im Rahmen des Kapitels 6 wird der Workflow untersucht. Die im praktischen Teil absolvierte Tätigkeit dient als Beispiel und Unterstützung der nachfolgenden Punkte. Die Ergebnisse werden ausgewertet und in Unterkapitel gegliedert. Diese teilen sich erstens in Vor- und Nachteile der Arbeit in 3D im Vergleich zu demselben Vorgehen in 2D. Zweitens in die Besonderheiten aber auch Grenzen der Modellierung im Dreidimensionalen Raum, denn wie

in anderen Bereichen ist die CAD-Software keinesfalls die Lösung für alle Probleme, die sich einem Planer stellen. Drittens werden die Möglichkeiten beleuchtet, die sinnvolle Einsatzszenarien des 3D- aber auch des 2D-CAD beinhalten. Nicht immer ist es von Vorteil in 3D zu arbeiten, deshalb folgt hier eine Aufstellung, wofür sich welche Vorgehensweise am Besten eignet.

Als Abschluss der Arbeit findet sich in Kapitel 7 die Zusammenfassung der Arbeit und deren Ergebnisse. Des Weiteren werden in einem kurzen Ausblick weiterführende Fragestellungen, Perspektiven und Möglichkeiten aufgeführt, deren Bearbeitung über den Rahmen der Arbeit hinausgegangen wäre. Diese könnten Thema einer weiteren Untersuchung oder Ausarbeitung werden.

## Kapitel 2

# Theoretische Grundlagen

Im folgenden Kapitel wird das Fundament gelegt, auf das in den weiterführenden Kapiteln aufgebaut wird. Um den Einstieg in die digitale Architektur nachvollziehen zu können, wird die Entstehung der Architektur in einer Zusammenfassung aufbereitet und die Frage, welche Eigenschaften die Architektur heute ausmachen, wird geklärt. Denn wie Günther Fischer in seinem Fachbuch der Architekturtheorie für Architekten feststellt, wird die Architektur fälschlicherweise als das Produkt dessen verstanden, „(...) was eine Architektin oder ein Architekt macht“ [Fis18, S. 3]. Sie ist jedoch viel mehr als nur das. Es gibt sie bereits seit Anbeginn der Menschheitsgeschichte und auch sie hat im Laufe der Jahrtausende einen Wandel durchlebt. Je nach Epoche bestand ein unterschiedliches Verständnis der Architektur und ebenso war die Rolle des Architekten nicht immer fest im Dienstleistungssektor verankert. In Anlehnung an Günther Fischers *Architekturtheorie für Architekten*, herausgegeben 2018, erfolgt ein Überblick über die entscheidenden Entwicklungen der Architektur.

### 2.1 Historischer Hintergrund

Die erste Erwähnung eines *architekton* findet sich im 5. Jh. v. Chr. in einem Werk des griechischen Geschichtsschreibers Herodot [Mü89, S. 90]. Diese Komposition setzt sich aus den altgriechischen Worten *Arche* (Altgriech., Verbform „den Oberbefehl haben“) und *tekton* (Altgriech., Substantiv „Holzarbeiter“) zusammen. Gemeint ist mit diesem Begriff der Handwerker, da zu jener Zeit überwiegend in Holz gearbeitet wurde [Lö97, S. 10]. Übersetzt bedeutet dies somit „Leiter der Handwerker“ [Fis18, S. 23], das einem Aufgabenbereich des heutigen Bauleiters entspricht: Die Beaufsichtigung und das Anweisen der Handwerker auf der Baustelle. Jedoch hatte die Architektur damals keine besondere Stellung, sondern galt als Teilbereich des Handwerks. Aus den Schriften der großen Philosophen wie Platon (428-384 v. Chr.) und Aristoteles (384-322 v. Chr.) wird vor allem die Rangordnung ersichtlich. Der *Tekton* stand lediglich über den anderen Gewerken, da ihm nachgesagt wurde, *er würde wegen seiner Werkzeuge sehr genau arbeiten*, aber keineswegs außerhalb der Handwerker [PEMW90, S. 405, Abs. 56b und c].

In der römischen Republik (509-27 v. Chr.) war der Begriff *Architectura* bereits etabliert und der römische Architekt Vitruv verfasste im 1. Jh. v. Chr. seine *Zehn Bücher über Architek-*

tur [PF91]. Diese befassten sich mit dem Tätigkeitsbereich des Architekten, theoretischen Grundlagen, Materialien, dem Sakral-, öffentlichen und privaten Bau, der Farbenlehre, aber auch Teilen des heutigen Ingenieurwesens wie dem Uhren- und Maschinenbau. Vitruv entwickelte erstmals ein umfassendes Fachbuch über die Disziplin Architektur, die als eine Verbindung zwischen handwerklicher Praxis und geistiger Leistung verstanden wurde [Fis08b, S. 16]. Zu dieser Zeit war der Titel „Architekt“ keiner ausgebildeten Bevölkerungsgruppe zugeschrieben, jeder konnte sich derartig nennen und dementsprechend war die Lage im Römischen Reich. Für besondere Bauten ließ man Architekten aus Griechenland einreisen, um Stümpereien von vermeintlich Qualifizierten zu vermeiden [PF91, S. 261]. Vitruv prägte drei wichtige Grundprinzipien der Architektur, die jedes Bauwerk erfüllen sollte: Stabilität, Nützlichkeit und Schönheit (lat. *firmitas, utilitas, venustas*) [Fis08b, S. 11]. Dabei bezog sich die *venustas* auf die Ästhetik eines Gebäudes, beispielsweise die Verzierung durch Ornamente.

In der Renaissance wurde diese Verknüpfung jedoch gelöst und der Humanist Leon Battista Alberti legte in seinem Werk *De re aedificatoria* um 1485 fest, dass der Architekt nur noch für die Planung zuständig sei [AT12]. Seine Abhandlung, ebenfalls in zehn Bücher gegliedert, hatte großen Einfluss auf die weitere Entwicklung der Architektur [Fis08b].

Im 16. Jahrhundert wurde die Architektur den Bildenden Künsten zugeschrieben, jedoch hatte sich im Zuge der Renaissance (ca. 1400-1620) der Berufsstand des Architekten geprägt, der sich vorwiegend mit dem architektonischen Entwerfen beschäftigte. In dieser Zeit entstanden Bauten wie der selbsttragende Kuppelbau des Doms Santa Maria del Fiore in Florenz unter der Leitung des Architekten Brunelleschi [Ste05, S. 6]. Abbildung 2.1 zeigt die Domkuppel, die 1436 geweiht wurde und bei deren Bau der Bildhauer und Architekt Brunelleschi die Umsetzung der planerischen Vorgaben des Entwurfs übernahm [Ste05, S. 8].



**Abbildung 2.1:** Blick auf den Dombau der Santa Maria del Fiore in Florenz. Quelle: [Sam16].

Nur wenige Jahre später wurde die Architektur zur Wissenschaft und man forderte die Ausbildung der Architekten in mathematischen Disziplinen [Sch93, S. 21]. Diese naturwissenschaftliche Sichtweise blieb bis Ende des 17. Jahrhunderts erhalten. Erst durch Johann Joachim Winkelmann (1717-1768), den Begründer der Kunstgeschichte, wurde die Archi-

tektur zur Baukunst. In Werken wie *Geschichte der Kunst des Altertums* beschreibt der Begriff „Architektur“ lediglich ein Bauwerk, aber keine Disziplin als solche [Win72]. Es ging darin nicht um die Theorie, sondern um Bauwerke, die durch ihr äußeres Zierwerk als Kunst angesehen wurden.

Im 18. Jahrhundert, geprägt durch die Französische Revolution (1789-1799) und die Industrialisierung, wurde das Architekturverständnis erneut gewandelt. Es bestanden neue Bauaufgaben, wie solche für Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen aber auch Infrastruktur und staatliche Bauten. Die Nachfrage an technisch qualifizierten Architekten stieg und somit entstanden Schulen wie beispielsweise 1795 die *École polytechnique* in Paris [Fis18, S. 38-40]. An dieser gab es von nun an qualifizierte Vorlesungen, Praktika und Übungen unter Anleitung des Architekten Jean-Nicolas-Louis Durand (1760-1834) [Pfa97, S. 9]. Durch deutsche Architekten, die bei Durand lernten, entstanden polytechnische Hochschulen in ganz Deutschland, darunter die Bauakademie in Berlin [Pfa97, S. 227], die beispielsweise den Architekten Gottfried Semper (1803-1879) als Lehrer beschäftigte [Fis18, S. 41]. Als dessen bekanntestes Werk gilt die Semperoper in der sächsischen Landeshauptstadt Dresden.



**Abbildung 2.2:** Front der Semperoper in Dresden. Quelle: [Kol08].

Nach einer Zeit der Ungewissheit darüber, welcher Natur das Fachgebiet Architektur nun sei, wurde sie zu einer „technischen Dienstleistung“ [Fis18, S. 45].

Inzwischen hat die Architektur als eingeständige Fakultät den Einzug an den Universitäten gehalten und wird seit den achtziger Jahren gelehrt. Dieser letzte Schritt bestätigte den Architekten die Anspruchserhebung auf den Titel eines Wissenschaftlers und Akademikers, der den des Handwerkers, des Künstlers oder des Ingenieurs nicht nur ablöste, sondern ergänzte [Gä20, S. 23].

## 2.2 Architektur heute

Die Definition des Architektur-Begriffs bleibt bis heute schwer konkretisierbar. So wie die Architektur im Laufe der Jahrtausende einen Bedeutungswandel vom Handwerk über die Kunst zur Technik durchmachte, hat auch der gegenwärtig Begriff mehrere Bedeutungen. Zum einen umfasst dieser die Tätigkeit eines Architekten, dementsprechend den geistigen

und gestalterischen Aspekt des Entwerfen und die rationale Planung von Bauwerken. Des weiteren die daraus entstehenden Bauwerke und eine wiederum daraus resultierende Baukunst, einen bestimmten Bau-Stil, aber auch die theoretische Wissenschaft dahinter. Die Architektur ist stets im Kontext mit einer Kultur und deren Gesellschaft zu verstehen und lässt sich nicht als allgemein gültig definieren. Sie wird von der Zeit, den Interessen und Möglichkeiten, der Politik und den Menschen, die sie schaffen, beeinflusst. Architektur entsteht nach Schmitt „(...) nie ohne Intention, ohne Willen, ohne geistigen Prozeß“, demnach also nicht ohne einen Architekten dahinter, der diesen vorantreibt [Sch93, S. 24].

Zudem wird die Architektur in Teildisziplinen aufgeteilt. Darunter zählen die Innen-, Stadt- und Landschaftsarchitektur. Generell lässt sich allerdings festlegen, dass Architektur eine raumbildende Eigenschaft besitzt. Durch den Bau eines Gebäudes entsteht ein Innen- sowie ein Außenraum, der durch architektonische Elemente (Wände, Dächer, Licht, Farben, Materialien) konstruiert wird. Der *Raum* besitzt eine Funktion (Küche, Bad, Abstellkammer, Garten) und mehreren Räumen wird ein *Raumthema* übergeordnet, das aus der Funktion und Konstruktion des Gebäudes entsteht. Besonders diese Gestaltung des Raumthemas ist in Abhängigkeit zur Kultur und Bauweise einer Epoche zu sehen und die Elemente unterstützen dieses [Neu15, S. 50-51]. Die Nutzung eines Gebäudes kann sich ebenso wie die Funktion eines einzelnen Raumes im Laufe der Zeit verändern und erzielt dadurch eine hohe Lebensdauer<sup>1</sup>.

Im folgenden Kapitel werden die Beteiligten, mögliche Bauvorhaben, das Architektonische Entwerfen sowie die Honorarordnung für Architekten und Ingenieure beschrieben. Somit erhält der Leser einen Überblick über die Grundlagen der Architektur und den Aufgaben eines Planers.

### 2.2.1 Beteiligte

Im Rahmen der *Musterbauordnung MBO*<sup>2</sup> werden die Beteiligten am Bau näher erläutert. Die Musterbauordnung wird durch die Bauministerkonferenz aktualisiert und veröffentlicht und befindet sich derzeit in der neuesten Fassung von November 2002.

Grundsätzlich sind die am Bau beteiligten Personen „dafür verantwortlich, dass die öffentlich-rechtlichen Vorschriften eingehalten werden“<sup>3</sup>.

Der *Bauherr* ist Auftraggeber und muss für das geplante Bauvorhaben stets Fachplaner beauftragen, insofern er nicht selbst unter diese zu zählen ist. E. Leimböck gliedert die Position des Bauherrn in drei Kategorien ein. Er kann eine private Institution (Privatperson, Verein), gewerblicher (Unternehmen, Versicherung) oder öffentlich-rechtlicher (Länder, Gemeinde) Natur sein. Zwangsweise muss er die Verfügungsgewalt über das Grundstück oder Gebäude besitzen [LIM17, S. 24]. Im Verlauf der Leistungsphasen nimmt er vor allem die erzeugten Entwürfe und Bauleistungen ab und hat als zentrale Rolle die Entscheidungsgewalt. Es ist wichtig, dass der Bauherr stets erreichbar ist und den Planer entsprechend unterstützt, um mögliche Verzögerungen im Projektablauf zu verhindern. Diese Pflicht sollte früh kommuniziert werden.

---

<sup>1</sup>vgl. Abschnitt 2.2.2

<sup>2</sup><https://www.bauministerkonferenz.de/verzeichnis.aspx?id=762o=7590762>. Abgerufen am 30.06.2022.

<sup>3</sup>vgl. §52 (1) MBO



Der *Plan-* oder *Entwurfsverfasser* (allg. Architekt, Planer) trägt die Verantwortung, dass er über ausreichende Qualifikation verfügt und seine Leistungen vollständig und brauchbar sind sowie mit den öffentlich-rechtlichen Vorschriften übereinstimmen<sup>4</sup>. Dies gewährleistet, dass ein Bauwerk frei von Mängeln entsteht. Damit seine Aufgaben bei einem Vorhaben klar definiert sind, eignet sich die Orientierung an der *Honorarordnung für Architekten und Ingenieure HOAI*<sup>5</sup>. Anhand der Leistungsphasen kann der Umfang seiner Arbeit bestimmt werden. Der Architekt befasst sich demnach je nach Leistungsphasen mit der Planung, der Koordinierung und der Kontrolle eines Bauwerks und nimmt eine bedeutende Rolle innerhalb des Projektverlaufs ein. Er vertritt den Bauherrn nicht nur bei relevanten Entscheidungen, sondern muss diesem zu jeder Zeit auch beratend zur Seite stehen.

Bei dem Architektenvertrag<sup>6</sup>, der zwischen dem Planer und dem Bauherrn abgeschlossen wird, handelt es sich gemäß dem Bürgerlichen Gesetzbuch um einen Werkvertrag, bei dem das Werk als solches geschuldet wird<sup>7</sup>. Die zu erbringenden Leistungen eines Planers sind allerdings Gegenstand des Dienstvertrags, er schuldet somit seine Leistung<sup>8</sup>. Es ist wichtig, dass die zu erbringenden Leistungen des Planers und das Ziel der Arbeit im Architektenvertrag genau festgehalten werden, sodass keine Missverständnisse entstehen. Dieses Ziel bildet sich erst im Verlauf der Planungsarbeit heraus und muss jederzeit mit dem Bauherrn abgestimmt werden [LIM17, S. 28].

Der *Fachplaner* übernimmt und verantwortet im Gegensatz zu der umfassenden Arbeit des Architekten nur bestimmte Abschnitte. Da der Entwurfsverfasser meist nicht über ausreichend Wissen in allen Bereichen verfügen kann, ist es seine Pflicht, sich an das betreffende Fachpersonal zu wenden und mit diesem zusammenzuarbeiten. Er wird überwiegend während der *Ausführungsplanung*<sup>9</sup> hinzugezogen. Fachplaner wie Vermesser<sup>10</sup> oder Statiker<sup>11</sup> werden allerdings in frühen Phasen des Projekts eingebunden, da ihre Arbeit Einfluss auf den weiteren Verlauf hat. Zudem lassen sich hierdurch mögliche Herausforderungen frühzeitig detektieren und die Umsetzungen besprechen. Weitere Fachingenieure sind zuständig für „Heizung, Lüftung, Schallschutz, Garten- und Landschaftsbau, Sanitär, Elektro- und Anlagentechnik (...)“ [LIM17, S. 29]. Aufgabe des Architekten ist es, die Fachplaner zu koordinieren, da deren Leistungen in der Regel aufeinander aufbauen.

Die Rolle des *Bauleiters*<sup>12</sup> überwacht die auszuführenden Leistungen auf der Baustelle über den gesamten Ausführungszeitraum hinweg. Zudem hat er eine Kontroll- und Koordinierungsfunktion, dass die ausführenden Unternehmen sachgemäß und nach Vorgaben arbeiten, aber auch Rechnungen korrekt aufgestellt sind. Er steht durchweg in Kontakt mit dem Bauherrn und nimmt die Leistungen der Beteiligten ab und Lieferungen in dessen Namen

---

<sup>4</sup>§53 (1) MBO

<sup>5</sup>s. Abschnitt 2.2.3

<sup>6</sup>vgl. §650 p-t BGB

<sup>7</sup>vgl. §631-651 BGB

<sup>8</sup>vgl. §611-630 BGB

<sup>9</sup>s. 2.2.3, Leistungsphase 5

<sup>10</sup>Vermisst die Lage eines Gebäudes und die Höhe des umliegenden Geländes und erstellt daraus beispielsweise Lagepläne, die Bestandteil des Bauantrags sind.

<sup>11</sup>Berechnet Stärke der Wände und Decken, erstellt Gutachten und überwacht die Arbeit auf der Baustelle.

<sup>12</sup><https://refa.de/berufe/bauleiter>. Abgerufen am 30.06.2022.

entgegen<sup>13</sup>.

Zu den *Finanzierungsträgern* zählen bei privaten Bauten die Banken oder konkreter auch Bausparkassen. Durch ein Eigenkapital wird die Finanzierung eines Kredits gewährleistet. Plant ein Unternehmen ein Bauvorhaben, dann handelt es sich meist um eine Unternehmensfinanzierung [LIM17, S. 26].

### 2.2.2 Bauvorhaben

Grundsätzlich durchläuft ein Gebäude mehrere Phasen innerhalb seines Lebenszyklus, die sich von der Planung und dem Bau über die Nutzung und seiner Erneuerung bis hin zu dessen Abriss erstrecken. Im Schnitt werden Bauwerke 50 bis 100 Jahre genutzt, wobei diese Dauer durch den Bau variabler einsetzbarer Werke deutlich erhöht werden kann. Ein bedeutender und nicht zu unterschätzender Faktor spielt die Nachhaltigkeit im Bausektor. Dieser trägt mit 10% der weltweiten Treibhausgasemission einen erheblichen Anteil zur Umweltschädigung bei [UNE20, S. 10]. Unter Berücksichtigung verschiedener Maßnahmen besteht die Möglichkeit, nachhaltig zu Planen, sodass ein Gebäude im Rahmen seines Lebenszyklus wenig Ressourcen und Energie verbraucht, um die Natur nicht langfristig zu schädigen [Neu15, S. 55]. Dabei gibt es Vorschriften und Regeln, die bei der Planung berücksichtigt und eingehalten werden müssen. Darunter zählen Punkte wie ausreichende Heizungsanlagen, Wärmeschutz aber auch Dämmung der Wände und des Daches [Neu15, S. 56]. Statt des Abbrisses eines bestehenden Gebäudes und der Errichtung eines gänzlich Neuen, was Mehrkosten erzeugt, sollte das *Bauen im Bestand* in Betracht gezogen werden.

#### Bauen im Bestand

Das *Bauen im Bestand* umfasst unterschiedliche Maßnahmen, die in der HOAI in Paragraph 2 definiert werden. Zu den wichtigsten und häufig auftretenden gehören der *Umbau*, die *Modernisierung* oder die baugenehmigungspflichtige *Nutzungsänderung*. Durch die Festlegung auf eine oder mehrere dieser Kategorien im Rahmen des Bauvorhabens besteht für den Bauherrn die Möglichkeit der Antragsstellung auf Förderung und für den Architekten die der Zuschläge auf sein Honorar [Neu15, S. 60].

Bei einem **Umbau** wird ein vorhandenes Objekt in seiner Konstruktion (Wände, Decken) oder dem Bestand durchgreifend verändert<sup>14</sup>. Ein Beispiel hierfür wäre der Umbau eines Balkons zu Wohnraum durch umgebende Wände.

Durch eine **Modernisierung** steigert sich der Wert eines Objekts, die Funktion wird allerdings nicht verändert<sup>15</sup>. Die Wärmedämmung einer ungedämmten Außenfassade oder das Erneuern von Zimmertüren zählt als Modernisierung.

Da bei einer **Nutzungsänderung** des Gebäudes möglicherweise andere Vorschriften gelten, bedarf es einer Baugenehmigung, für die wie bei einem Neubau ein Antrag bei der zuständigen Behörde gestellt werden muss<sup>16</sup>. Unter den Begriff Nutzungsänderung fällt beispielsweise

---

<sup>13</sup>§56 (1) und (2) MBO

<sup>14</sup>vgl. §2 (5) HOAI

<sup>15</sup>vgl. §2 (6) HOAI

<sup>16</sup>vgl. §59 MBO

die Nutzung der ehemaligen Scheune als zukünftige Garage.

Da das Bauen im Bestand nicht selten ein historisches Gebäude betrifft, folgt ein kurzer Ausblick in den Denkmalschutz. Historische Gebäude haben generell mehrere Bedeutungen. In ihrer Bauweise repräsentieren sie nicht nur einen Baustil mit vergleichsweise besonderer Ausführung, sondern sie erinnern auch an historische Ereignisse oder ein möglicherweise nicht mehr erkennbares Baukonzept einer Anlage. Die staatliche Denkmalpflege sorgt dafür, dass derartiges Kulturgut durch Denkmalschutzgesetze auch noch für die Nachwelt erhalten bleibt. Im Rahmen der Bauforschung, für die weitere Fachleute hinzugezogen werden, können mit naturwissenschaftlichen Methoden, wie der Dendrochronologie<sup>17</sup>, vor allem Alter und Farbe der verwendeten Materialien ermittelt werden. Dies kann für spätere Ausschreibungen der Gewerke hilfreich sein, falls das Denkmalamt Auflagen erlässt, die ein spezifisches Vorgehen verlangen [Neu15, S. 61-63].

Im folgenden Abschnitt werden die Leistungen des Planers genauer beschrieben, worunter auch die bereits genannte Ausschreibung fällt.

### 2.2.3 Honorarordnung für Architekten und Ingenieure

Das Tätigkeitsfeld eines Architekten ist inzwischen breit gefächert. Daher spricht Fischer nicht umsonst von „so viele[n] unterschiedliche[n] Begabungen“, über die ein Architekt verfügen müsse [Fis18, S. 101]. *Die Honorarordnung für Architekten und Ingenieure* bringt Licht in die Dunkelheit und ordnet die möglichen Tätigkeiten neun Leistungsphasen zu [hoa21, §34 (3)]. Wie der Name bereits verrät, war diese Ordnung die Grundlage der Vergütung von Architekten und Ingenieuren. Je nach Bauart, Schwierigkeitsgrad und der Summe der anrechenbaren Kosten ergibt sich ein Honorar für die erbrachten oder zu erbringenden Leistungen. Die anrechenbaren Kosten errechnen sich unter anderem aus den Baukosten. Seit dem 6. November 2020 ist die *HOAI 2021* allerdings nicht mehr obligatorisch, kann allerdings als Richtlinie zur Bestimmung des Honorars hinzugezogen werden<sup>18</sup>. Die Leistungsphasen (LPH) wurden je zu einem festgelegten Prozentsatz angerechnet. Im folgenden Abschnitt werden die Phasen vorgestellt und in Bezug auf das Leistungsbild *Gebäude und Innenräume* an Hand ausgewählter Grundleistungen erklärt [hoa21, Anlage 10.1].

#### Leistungsphasen im Leistungsbild Gebäude und Innenräume

1. Grundlagenermittlung
2. Vorplanung
3. Entwurfsplanung
4. Genehmigungsplanung
5. Ausführungsplanung
6. Vorbereitung der Vergabe
7. Mitwirkung bei der Vergabe
8. Objektüberwachung
9. Objektbetreuung

---

<sup>17</sup>Durch dieses Verfahren kann das Alter von verarbeitetem Holz bestimmt werden. Dies wird vor allem bei Fachwerkhäusern angewendet.

<sup>18</sup><https://www.bauindex-online.de/regelwerke/hoai-2021/>. Abgerufen am 30.06.2022.

Bei der *Grundlagenermittlung* wird der Rahmen der Zusammenarbeit mit dem Bauherrn gesetzt. Die relevanten Informationen bezüglich des Objekts wie Größe und Art der Maßnahmen aber auch das Budget werden vom Architekten ermittelt. Der Planer nimmt dabei eine beratende Rolle ein und hilft dem Bauherrn bei der Klärung der Aufgabenstellung.

Innerhalb der zweiten Leistungsphase wird mit der *Vorplanung* begonnen. Die ermittelten Grundlagen werden ausgewertet und ein Konzept, basierend auf einem ersten Vorentwurf des Objekts in Form einer Zeichnung wird angefertigt. Außerdem wird eine Kostenschätzung nach DIN276<sup>19</sup> aufgestellt. Ergänzend dazu müssen gegebenenfalls erste Vorbesprechungen mit weiteren Beteiligten durchgeführt werden.

Die dritte Phase widmet sich der *Entwurfsplanung*. In dieser LPH wird die Kostenberechnung nach DIN276<sup>20</sup> erzeugt. Der Entwurf wird in vollständigen Zeichnungen dargestellt. Da Details in dieser Phase noch keine Relevanz besitzen, erfolgt eine Zeichnung meist im Maßstab 1:100. Auch in dieser Phase kann es zu einer erhöhten Kommunikation zwischen Architekt und Beteiligten kommen.

In LPH 4: *Genehmigungsplanung* wird der Bauantrag des Bauvorhabens zusammengestellt und bei der zuständigen Behörde eingereicht. Diese ist in der Regel das lokale Bauamt. Unter Umständen müssen Unterlagen nachgereicht werden, wenn fehlende Informationen benötigt werden. In einem Bauantrag müssen die Adressen des Bauherrn, des Planers und des Objekts sowie die Benennung des Bauvorhabens und alle benötigten Zeichnungen enthalten sein. Zudem wird ein Lageplan, eine Baubeschreibung in Textform und weitere Nachweise eingereicht.

Die Bauzeichnungen beinhalten Grundrisse der einzelnen Geschosse, einen oder mehrere Schnitte<sup>21</sup> durch das Gebäude, Ansichten von Außen und gegebenenfalls Isometrien, die das Objekt durch orthogonale Parallelprojektion als Volumenkörper im dreidimensionalen Raum abbilden.

Erst nach rechtlicher und erfolgreicher Prüfung des Antrags wird dem Antragsteller eine Baugenehmigung gestattet. Diese Baugenehmigung kann jedoch durch Auflagen ergänzt sein. Entscheidend ist, dass binnen eines Jahres mit dem Bau begonnen wird, da andernfalls die Genehmigung verfällt [Neu15, S. 70].

Die fünfte Leistungsphase befasst sich mit der *Ausführungsplanung*. Basierend auf den vorgegangenen Leistungsphasen werden alle nötigen Informationen in Text- und Zeichnungsform zusammengestellt, damit die Ausführung des Baus ohne Komplikationen ablaufen kann. Die sogenannten Ausführungs- oder Werkpläne werden erneut detailreicher und der Maßstab ändert sich auf 1:50. Zusätzlich werden Detailzeichnungen des Objekts angefertigt, die lediglich einen ausgewählten Teil in Maßstäben wie 1:1/5/10/20 darstellen. Je nach Gewerk können einzelne Sonderzeichnungen angefertigt werden, die beispielsweise nur Informationen für den Elektriker oder Holzbauer enthalten. In Raumbüchern werden für jeden Raum die relevanten Daten in einer Tabelle aufgelistet. Vor allem Maße sowie Boden- und Wandbeläge

---

<sup>19</sup>s. Abschnitt 2.2.4, Kostenschätzung

<sup>20</sup>s. Abschnitt 2.2.4 Kostenberechnung

<sup>21</sup>Das Gebäude wird vertikal mit einer Blickrichtung „geschnitten“ und erlaubt einen Blick in sein Inneres. Geschnittene Objekte wie Wände zeigen beispielsweise ihren Schichtaufbau und es können Höhen der Geschosse vermaßt werden.

sind darin enthalten [Neu15, S. 71]. Das Anreichern des Werkplans mit Informationen vervollständigt den Entwurf schrittweise zu einem Konzept [Fis18, S. 125].

LPH 6 und 7 beinhalten zum Einen die *Vorbereitung*, zum Anderen aber auch das *Mitwirken bei der Vergabe*. Durch ein vorab erstelltes Leistungsverzeichnis (Ausschreibung) durch den Planer, das qualifizierte Fachplaner mit ihren Preisen befüllen, entsteht ein Angebot. Wird dieses Angebot angenommen, besteht ein Bauvertrag. Die Vergabe bezeichnet somit die Verteilung der Aufgaben für die Ausführung an Fachplaner [Neu15, S. 72]. Diese können Rohbauer, Heizung und Sanitär aber auch Maler sein. Das Leistungsverzeichnis listet die Menge, eine Beschreibung, den Einheits- und Gesamtpreis einer Position (Leistung) auf. Die *Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen* gilt dabei als rechtliche Vorschrift [DD16]. Um das Budget nicht zu überschreiten, werden die Angebote nach deren Einholen mit der Kostenberechnung abgeglichen und vor allem nach Angemessenheit geprüft. Dafür erstellt der Planer ein bepreistes Leistungsverzeichnis mit aktuellen Preisen und vergleicht dieses mit den Angeboten. Schließlich wirkt er bei dem Erteilen der Aufträge mit.

Bei der 8. Leistungsphase handelt es sich um die *Objektüberwachung*. Die vorab geplante Ausführung wird überwacht und die beteiligten Fachleute werden vor Ort koordiniert. Der Planer nimmt die Rolle des Bauleiters ein und führt überdies ein Tagebuch des Bauablaufs. Er organisiert des Weiteren die Abnahme der Leistungen und prüft diese auf Mängel entgegen der Ausführungsunterlagen. In dieser LPH wird eine Kostenfeststellung nach DIN276 erstellt, deren Grundlage Schlussrechnungen von den am Bau beteiligten Fachleuten ist. Für diese Phase kann ein externes Generalunternehmen beauftragt werden, das die Bauleitung übernimmt.

Im Rahmen der *Objektbetreuung* in LPH 9 werden durch Objektbegehungen Mängel detektiert und bewertet. Diese müssen sich innerhalb der Verjährungsfristen ab Zeitpunkt der Abnahme befinden, um einen Anspruch auf Gewährleistung zu haben.

#### 2.2.4 Kosten im Bauwesen

Das 1917 in Berlin gegründete *Deutsche Institut für Normung e.V.* DIN setzt Standards, so genannte Normen, fest, die gewährleisten, dass eine „Übereinkunft über den Stand der Technik“ besteht<sup>22</sup>. DIN-Normen werden verbindlich, wenn sie in Rechtsvorschriften erwähnt werden [Neu15, S. 2]. *DIN276* ist Grundlage der Kosten im Bauwesen, auch Baukosten genannt, und unterscheidet zwischen sechs verschiedenen Kostenermittlungen. Nach *HOAI* sind vier davon für den Architekten obligatorisch, darunter zählen die Kostenschätzung (LPH 2), die Kostenberechnung (LPH 3), ein Bepreistes Leistungsverzeichnis (LPH 6) und die Kostenfeststellung (LPH 8) [Neu15, S. 76]. Die Baukosten sind gemäß der aktuellen Fassung *DIN276-1:2018-12* „Aufwendungen, insbesondere für Güter, Leistungen, Steuern und Abgaben, die mit der Vorbereitung, Planung und Ausführung von Bauprojekten verbunden sind“. Mit Voranschreiten der Leistungsphasen werden diese Kosten konkreter, der Einfluss auf sie nimmt allerdings zunehmend ab [Sch21, S. 3]. Deshalb ist die vollständige Ermittlung zwingend notwendig, um Kontrolle über die Kosten zu haben und gegebenenfalls Maßnahmen einzuleiten, dass diese innerhalb der Kostenvorgabe gesichert sind und um Transparenz zu

<sup>22</sup> <https://www.din.de/de/ueber-normen-und-standards/din-norm>. Abgerufen am 30.06.2022.

wahren [Ne18, S. 6-12]. Die *DIN276* unterteilt die Kosten in acht Kostengruppen (100 - 800) [Ne18, S. 14-35], die wiederum in drei Detaillierungstiefen, so genannte Kostenebenen, dargestellt werden können [Ne18, S. 12]. Der Kostenermittlung liegt eine digitale oder analoge Zeichnung zu Grunde, aus der die benötigten Flächen in Quadratmeter oder Volumina in Kubikmeter errechnet werden [Sch21, S. 15]. Auch diese wird mit dem Projektverlauf ergänzt und verfeinert. Die Kostenkennwerte finden sich in den Büchern des *Baukosteninformationszentrums Deutscher Architektenkammer (BKI)*, die nach Neubau und Altbau differenzieren [BK121a, BK121b]. In diesen Publikationen werden Vergleichsobjekte aufgelistet und die Kostengruppen mit aktuellen Von-Bis-Preisen versehen. An diesen kann sich ein Architekt orientieren.

Es folgt eine Beschreibung der Kostenschätzung und -berechnung.

### **Kostenschätzung**

Innerhalb der Kostenschätzung der 2. Leistungsphase werden die gesamten Kosten für die Maßnahmen grob überschlagen. Dabei findet die 2. Kostenebene ihre Anwendung. Es handelt sich um eine Übersicht der Kostengruppen von 100 bis 800, wobei die Kostengruppe selbst untergliedert wird. Nennenswert ist, dass der Architekt im Rahmen seiner Planung nur die Kostengruppe 300: Bauwerk-Baukonstruktionen selbst ausfüllt und die Weiteren an die ausgewählten Fachleute übergibt [Sch21, S. 21]. Je nach Umfang des Bauvorhabens werden nicht alle Kostengruppen benötigt, was für alle Kostenermittlungen gilt. Die Kostengruppe 300 wird beispielsweise in 330: Außenwände, 340: Innenwände etc. untergliedert.

### **Kostenberechnung**

Die Kostenberechnung folgt im Anschluss in LPH 3 und ist dementsprechend genauer. Sie wird mindestens bis in die 3. Detaillierungstiefe aufgestellt und ihr liegen detailliertere Pläne zu Grunde, als noch in der Kostenschätzung [Sch21, S. 18]. Die Kostengruppe 300 wird beispielsweise in 331: Tragende Außenwände, 332: Nicht-Tragende Außenwände etc. unterteilt.

### **2.2.5 Architektonisches Entwerfen**

Das *architektonische Entwerfen* und die daraus entstehende Architektur bilden einen bedeutenden Faktor unserer Lebensweltqualität, verbringen wir doch die meiste Zeit in Räumen<sup>23</sup>, die überwiegend von Menschen entworfen wurden [Gä20, S. 17]. Um den Entwurf nachfolgend zu beschreiben, erfolgt ein weiterer kurzer Exkurs in die Renaissance.

Bereits im 16. Jahrhundert wurde die Architektur von dem Maler Giorgio Vasari (1511-1574) unter den *tre arti del disegno*<sup>24</sup> mit der Malerei und Bildhauerei zusammengefasst [VB06, S. 7]. Diese Zuordnung zu den Bildenden Künsten geschah nicht ohne Grund, denn allen Dreien war der schöpferische Vorgang des Entwerfens gemeinsam. Dabei handelt es sich um einen Prozess, bei dem die Idee zuerst im Geiste entsteht und anschließend auf Papier

---

<sup>23</sup>Gemeint ist hier nicht ein expliziter Innenraum, sondern der Raum als gestaltete Umgebung für den Menschen.

<sup>24</sup>Deutsch: Drei Künste der Zeichnung

in einer Zeichnung (Isometrie<sup>25</sup>, Zentralperspektive) abgebildet wird, bevor die eigentliche Tätigkeit am Werk begonnen wird [Fis18, S. 29-31]. Gerhard Pahl spricht in seinem Buch *Konstruieren mit CAD-Systemen* von 1990 bereits von einem mentalen Modell [Pah90, S. 42]. Diese Auffassung hat sich bis heute nicht verändert, jedoch vereint die Rolle des Architekten zweierlei Aufgaben. Er ist Entwerfer und Planer. Beide Aufgaben unterscheiden sich voneinander, werden jedoch gern als Synonym verwendet. Während der Entwurf als solches den Schritt von Konzept zu Zeichnung meint und unter anderem aus irrationalen Gedankengängen entsteht, ist die Planung deren Umsetzung und basiert auf dem Versuch einer rationalen Problemlösung. Den auftretenden Komplikationen kann rechtzeitig entgegengewirkt werden [Fis18, S. 113]. Das Endprodukt beider Prozesse ist der Akt des Bauens, bei dem der Architekt kontrollieren muss, dass seine Pläne im Kosten-, Zeit- und Qualitätsrahmen umgesetzt werden [Fis18, S. 107]. Nicht außer Acht zu lassen ist, dass nicht für jedes Bauwerk von Grund auf neu entworfen und das Rad neu erfunden werden muss, sondern der Architekt sich vielmehr auf seine Berufserfahrung berufen kann. Durch diese hat er bereits ein Kompendium an Lösungen für vorhandene Probleme und kann diese anwenden, sodass der Entwurfsprozess deutlich verkürzt wird.

Das richtige Maß zu finden muss geübt werden. Ohne eine passende Bezugsgröße fällt es schwer, sich die Dimensionen von Objekten vorzustellen. Gerade beim Bauen ist dies entscheidend und Grundlage für die Architektur und ihren Entwurfsprozess. Neufert legt deshalb den Menschen als das einzig richtige Maß fest, von dem alle weiteren Maße abgeleitet werden und erklärt in seiner *Bauentwurfslehre* jedes noch so wichtige Detail der Bauplanung von der Plangrafik bis zur Konstruktion von Krankenhäusern und Flughäfen. Für den Entwerfenden ist es unabdingbar zu wissen, „welchen Raum ein Mensch in verschiedenen Lagen und in der Bewegung einnimmt“, welche Maße Möbel und Geräte haben und insbesondere wie viel Platz dazwischen liegen muss, damit er sich bequem fortbewegen und Ruhe finden kann. Diese Maße und Informationen sammelte Neufert seit 1926 in Theorie und Praxis und sein Werk gilt als eines der erfolgreichsten Architekturbücher des 20. Jahrhunderts [Neu15, S. 37].

### Digitales Entwerfen

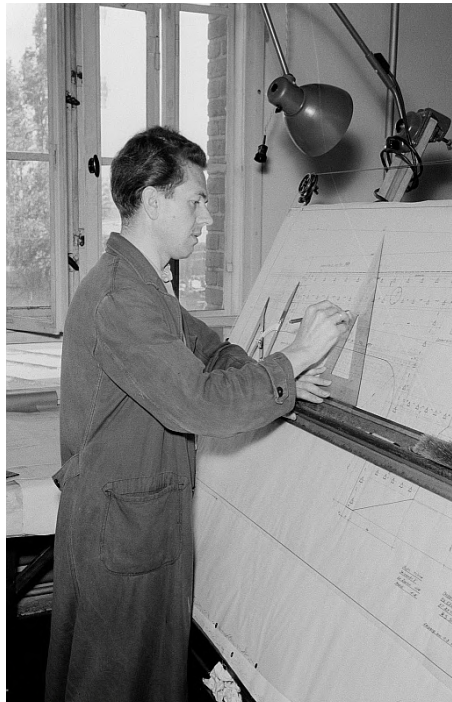
Wurde gegen Ende des letzten Jahrhunderts noch von Hand auf Papier gezeichnet, um einen Plansatz eines Bauantrags zu fertigen, so hat die Digitalisierung inzwischen auch den Bausektor eingenommen und der Computer nahm die Stelle des veralteten Reißbretts ein, das auf Abbildung 2.3 zu sehen ist. Dabei handelt es sich um eine Zeichenunterlage aus einem rechtwinkligem Holzbrett, auf der mit Hilfe einer Schiene und Lineal gezeichnet und entworfen wurde.

Durch *digitale Entwurfsmethoden* wird der Prozess des Entwerfens, aber auch des Konstruierens mit Hilfe des Computers und geeigneter Software unterstützt [SWBZ09, S. 5]. Die daher bezeichneten CAx-Technologien<sup>26</sup> sind breit gefächert und umfassen Gebiete wie das *Computer Aided Engineering (CAE)*, dessen Aufgaben die Simulation, Diagnose, Synthese und Auswertung von komplexen Informationen umfasst [RS03, S. 3] und das *Computer Ai-*

<sup>25</sup>Durch senkrechte Parallelprojektion erzeugte Ansicht eines Gebäudes, die das Volumen sichtbar macht.

<sup>26</sup>Dabei ist „x“ ein Platzhalter.

*ded Manufacturing (CAM)*, bei dem Maschinen oder 3D-Drucker angesteuert werden, um die Teilefertigung zu unterstützen<sup>27</sup>. Zu diesen Technologien reiht sich ebenfalls das *Computer Aided Design (CAD)* [Pah90, S. 6f.]. Dieses findet unter anderem in der Architektur bei der Entwurfs- und Ausführungsplanung seine Anwendung und wird im folgenden Abschnitt 2.3 genauer erläutert. Nicht selten wird des weiteren der Begriff CAAD verwendet, der als Abkürzung für das *Computer Aided Architectural Design* steht.



Quelle: Deutsche Fotothek

**Abbildung 2.3:** Ein Bauzeichner bei der Arbeit am Reißbrett im Jahre 1954. Quelle: [RR54].

### 2.3 Computer Aided Design

Das *Computer Aided Design* und seine Entwicklung über die Jahrzehnte hinweg muss stets in Verbindung mit der Computergraphik als solche betrachtet werden. Zudem waren die Entwicklungen immer an die technischen Möglichkeiten und Leistung des Computers zu dieser Zeit gebunden, waren es doch überwiegend Ingenieure und IT-Spezialisten, die die Programme entwickelten, die später von Architekten genutzt wurden [Gä20, S. 304]. Durch die Digitalisierung und die damit einhergehenden Entwicklungen in Software und Funktionen, die den traditionellen Entwurfsprozess grundlegend verändert haben, entsteht unweigerlich ein neues Verständnis der Architektur [Sch93, S. 24]. Durch die Mittel, die einem Architekten heute zur Verfügung stehen, können Entwürfe erstellt werden, die zu damaliger Zeit vor allem technisch nicht umsetzbar gewesen wären [HB20, S. 14]. Jedoch war die Hard-

---

<sup>27</sup><https://www.plm.automation.siemens.com/global/de/our-story/glossary/computer-aided-manufacturing-cam/13139>. Abgerufen am 30.06.2022.



und Software nicht seit Anbeginn des CAD schnell und leistungsstark. Für einen gewissen Zeitraum war die manuelle Arbeit tatsächlich rapider als das Modellieren in 3D, allerdings hat sich im Rahmen dieser Entwicklung viel getan. CAAD bietet einem Architekturbüro viele Möglichkeiten, die insbesondere die Organisation der Pläne, die Verkürzung des Entwurfs- aber auch des Planungsprozesses und die Kreativität durch vielfältige Entwurfsmöglichkeiten fördern [Sch93, S. 212][FL10, S. 734].

Die gängigen Grundlagen des CAD und CAAD werden im nachfolgenden Abschnitt 2.3.1 vorgestellt.

### 2.3.1 Grundlagen

Dieser Abschnitt der Arbeit vermittelt Grundlagen des CAD und CAAD und ermöglicht dahingehend ein besseres Verständnis des Hauptteils.

Mit Hilfe von Modellen können einem Betrachter das „(...) Verhalten, Aussehen und verschiedenste Funktionen eines [neuen] Gebäudes (...)“ einfach vermittelt werden. Diese CAAD-Modelle verkörpern ein Gebäude in einem gewissen Grad der Abstraktion. Sie kombinieren diese Abstraktion und Operanden in einer Struktur, die analysiert und manipuliert werden kann. Zusätzlich zu einem geometrischen Modell, das mit Hilfe des Computers erzeugt wird, besteht zudem das physische Modell, das dem Betrachter eine Vorstellung des fertigen Gebäudes geben soll [Sch93, S. 38]. Wie in anderen Graphikprogrammen verfügen CAAD-Systeme über eine Zeichenebene, auf der grundlegende Operationen wie der Translation, Rotation und Skalierung, aber auch der Spiegelung an Objekten durchgeführt werden können. Neben diesen besteht im dreidimensionalen Raum die Möglichkeit der Erzeugung von Volumenkörpern. Für diese bestehen weitere Funktionen, die nur in der dritten Dimension verfügbar sind. Nachfolgend wird ein Überblick über die Arten der Informationsmodelle, der Modellierungstechniken und ihren Funktionen gegeben. Zu betonen ist dabei, welches Potenzial digitale Entwurfswerkzeuge besitzen. Es werden nicht nur analoge Vorgehensweisen digital simuliert, sondern mit Hilfe des Computers können Daten erfasst, verknüpft, verarbeitet und ausgewertet werden. Gerade durch diese erhöhte Mensch-Maschinen-Interaktion, die bereits 1963 von dem Pionier der Computergraphik Ivan Sutherland<sup>28</sup> angestrebt wurde, entsteht zwischen dem digitalen Entwurf und dem Entwerfenden ein direkter Dialog [HB20, S. 11f.].

Das Rechnerinterne Modell (RIM) und dementsprechend die Modellierung bietet die Grundlage für die Arbeit mit CAD-Systemen. Innerhalb der grafischen Oberfläche wird ein Informationsmodell erzeugt, das aus Punkten und Linien (2D) oder Volumina (3D) besteht. Dieses wird in eine formale Struktur aus binärem Code umgewandelt, sodass der Rechner das Modell verarbeiten kann. Diese Daten werden in einer Datenstruktur miteinander verknüpft und entsprechende Algorithmen werden angewendet, um aus einem Objekt ein Modell zu bilden und dieses darstellen zu können [Pah90, S. 45-46]. Durch Graphikbibliotheken wie *OpenGL* können dreidimensionale Modelle erzeugt und manipuliert werden. Die Programmierschnittstelle wurde in den Neunzigern entwickelt und kontinuierlich angepasst. Sie umfasst Befehle für die Verwaltung, Transformation und Projektion von geometrischen Formen, beginnend

---

<sup>28</sup>vgl. Kapitel 3

bei Primitiven wie Punkten und Linien, über Polygone bis hin zu Kugeln und komplexen NURBS<sup>29</sup>. OpenGL bildet die gängige Basis für graphische Anwendungssoftware [Ste17, S. 10]. Das Rendering bildet durch Ray Tracing und Radiosity-Verfahren eine photorealistische Darstellung eines 3D-Modells mit Schattierungen und Reflexionen, das zu Präsentationszwecken verwendet werden kann [Sch93, S. 211].

Ein **2D-Informationsmodell** bildet die Zeichenebene ab und dessen Punkte werden durch ein Zahlenpaar  $(x, y)$  definiert. Zwischen Darstellungsebenen (Schnitt, Ansicht) bestehen keine Relationen, sie müssen getrennt voneinander erstellt werden [Pah90, S. 47].

Translations- oder Rotationsmodelle werden auch **2 1/2-Modelle** genannt, da sie eine Grundfläche besitzen, die durch eine Rotation um eine Achse oder Translation an einer Achse ein dreidimensionales Objekt bilden. Sie werden aber nicht als Volumina von dem Computer gespeichert und lassen keine Änderungen außerhalb der Grundfläche zu. Sie dienen lediglich der Darstellung [Pah90, S. 49-50].

Innerhalb eines **3D-Modells** wird ein Punkt durch ein Zahlentripel  $(x, y, z)$  definiert. Das Modell kann bearbeitet werden und ist im Gegensatz zu einem 2 1/2-Modell vollständig durch die Informationen über Höhe, Breite und Tiefe beschrieben. Hierdurch können Aussagen über das Volumen und Massen getätigt werden. Aus diesem Modell können relevante Darstellungen abgeleitet werden und diese stehen untereinander in Relation. Wird das Modell in der Zeichenebene verändert, können die Ableitungen automatisch aktualisiert werden [Pah90, S. 50-51]. Neben der Darstellung als wireframe-Modell, das durch Vertices und Edges definiert ist, können 3D-Modelle durch Oberflächen beschrieben (*boundary representation B-rep*) werden, wobei die Kanten Polygone limitieren (*Oberflächenmodell*). Diese Polygone sind überschneidungsfrei verbunden und bilden ein Mesh. Verdeckte Linien lassen sich in Projektionen ausblenden. Zum Anderen kann das 3D-Modell durch *konstruktive Festkörpermodellierung* (constructive solid modelling CSG) erzeugt werden. Dabei werden dreidimensionale Festkörper transformiert, skaliert und durch boolesche Operationen wie der Schnittflächen- oder der Vereinigungsflächenbildung miteinander verbunden oder subtrahiert [Ste17, S. 12]. Bei dieser Modellierweise handelt es sich um die Rechenintensivste und durch Schneiden eines geschlossenen *solids* entsteht wieder ein geschlossener Festkörper [Sch93, S. 58].

### Parametrisierung

Die **Parametrisierung** ist eine der wichtigsten CAD-Instrumente, bei der sich der Entwurfende gegenüber der vorherig beschriebenen Methoden nicht direkt interaktiv mit der Form befasst, sondern einem Objekt lediglich Maße übergibt und dementsprechend ein Modell erzeugt werden kann [Gä20, S. 305]. Bereits in der griechischen Antike beschrieb Vitruv eine Entwurfsmethode für Tempel, bei der basierend auf einem zuvor ermittelten Grundmaß (Parameter) die übrigen Maße durch ganzzahlige Relationen berechnet wurden [PF91, S. 137, Buch III I]. Der Raum zwischen den Säulen war ein weiterer Parameter und maßgeblich für die Definition der unterschiedlichen Tempeltypen verantwortlich [PF91, S. 143, Buch III II]. Damals galt die Parametrisierung als Gestaltungsregel zur Erstellung von Tempeln, mitt-

---

<sup>29</sup> *Non-Uniform Rational B-Splines*. Linien oder Flächen, die geometrische oder beliebige Freiformen in 2D oder 3D darstellen können.

lerweile wird dieses Instrument von jeder CAAD-Software unterstützt. Durch die Änderung der Parameter verändern sich Objekteigenschaften und es können beliebig viele Varianten eines Objekts abgeleitet werden. Der Objektcharakter und seine Topologie bleiben durch diese Restriktionen erhalten, aber seine Geometrie wandelt sich [Sch93, S. 70].

CAAD-Systeme lassen eine objektorientierte parametrische Modellierung zu. Neben einer Vielzahl an Funktionen und Operationen für Volumenmodelle besteht die Möglichkeit Gebrauch von architektonischen, standardisierten Bauteilen zu machen, die als **parametrisierte Objekte** verfügbar sind. Solche Objekte sind mit spezifizierten Restriktionen versehen, die beispielsweise eine Einhaltung von Normen und Baugesetzen abzielen. Darunter zählen Wände, Decken, Böden, Fenster, Türen, Treppen und Dächer [Sch93, S. 70]. Innerhalb eines Menükontextes für das parametrisierte Objekt lassen sich Einstellungen in Form der Parameter vornehmen und das Programm konstruiert dieses im Anschluss. Ändern sich gewisse Parameter, wird das Objekt aktualisiert, ohne erneut modelliert werden zu müssen. Als Beispiel folgt ein Exkurs in die Treppenkonstruktion.

Die maßlichen Anforderungen an Treppen sind in DIN18065<sup>30</sup> geregelt. Eine Treppenstufe ist durch eine Steigung und einen Auftritt definiert, die die DIN einhalten müssen, um von Seiten des Bauamts abgenommen zu werden. Treppen in einem Wohngebäude mit maximal zwei Wohneinheiten haben optimal eine Steigung von 17 zu 28 Zentimetern Auftritt und gewährleisten damit das sichere Auf- und Absteigen der Bewohner [Neu15, S. 131]. Innerhalb des Programmes ist diese Vorgabe hinterlegt und ändert der Nutzer nun die Parameter des Steigungsverhältnisses, wird er gewarnt, dass er gegen die Norm verstößt. Alternativ werden Änderungsvorschläge wie das Verringern/Erhöhen der Anzahl an Stufen oder das Abändern der Geschosshöhe angeboten.

Parametrisierte Objekte bieten aus genannten Gründen für den Architekten eine erhebliche Erleichterung bezüglich der Konstruktion. Aus den eingegebenen Parametern wird vom System ein Objekt konstruiert und dieses muss nicht von Grund auf aus Volumenkörpern zusammengesetzt werden. Außerdem lassen sich beliebige Instanzen generieren und der Nutzer wird auf Planungsfehler, die die Normen missachten, hingewiesen.

### Intelligente Objekte

*Intelligente Objekte* sind 2D- oder 3D-Objekte, die sich intelligent verhalten und dementsprechend automatisch an Veränderungen anpassen. Sie sind Architektur-Objekte wie Fenster und Türen. Jedes dieser Objekte besitzt innerhalb der CAAD-Software ein eigenes Menü mit Einstellungen, das im folgenden Kapitel veranschaulicht wird. Neben Basiseinstellungen wie der Art des Fensters (Schiebe- oder Dreh-Kipp-Fenster) und Parametern, die die Form betreffen, können auch Einstellungen bezüglich des Verhaltens zur Wand bearbeitet werden. Intelligente Fenster und Türen passen sich automatisch der Wandstärke an. Wird diese im Verlauf der Modellbildung vergrößert oder verringert, verändern auch die Objekte ihre Tiefe. Es besteht des weiteren die Möglichkeit, dem Rahmen und anderen Bestandteilen eines Fensters oder einer Tür eine genaue Darstellung zuzuweisen, die Texturen und Materialien einschließt. Die Objekte können in 2D oder 3D, aber auch in beiden Darstellungen ange-

---

<sup>30</sup><https://www.baunormenlexikon.de/norm/din-18065/121acd2d-2c5d-4569-976e-a104eca0e486>. Abgerufen am 30.06.2022.

zeigt werden. Werden diese Bauteile manuell modelliert oder ausschließlich in 2D gezeichnet, müssen alle Änderungen in jeder Ansicht überarbeitet werden und nehmen Zeit in Anspruch, die durch Nutzung der intelligenten Objekte eingespart werden kann. Jedoch verwendet nicht jede CAD-Software diese Art von Modellierungshilfe, da diese meist nur von CAAD-Software unterstützt wird.

Diese Objekte und nahezu alle Formen und Volumina können als *Symbol* gespeichert werden, wenn sie mehrfach in einem Modell (2D und 3D) vorkommen und die gleichen Einstellungen besitzen. Beispielsweise kann ein Fenster in ein Symbol umgewandelt werden und als Instanz an beliebigen Stellen eingesetzt werden. Besteht nun Änderungsbedarf an den Einstellungen, müssen diese lediglich am Symbol geändert werden. Alle Instanzen dieses Symbols werden automatisch angepasst und bedürfen keiner weiteren manuellen Abänderungen.

### **Austauschformate**

Die erprobten CAD-Softwares unterstützen eine Vielzahl an Dateiformaten, die in der Regel einen verlust- und friktionsfreien Austausch der Daten gewährleisten. Insbesondere für den Transfer haben sich das *Drawing* (DWG) und das *Drawing Interchange File Format* (DXF) bewährt. Bei einem DWG wird die Zeichenebene binär auf ein 2D- oder 3D-Bild komprimiert. Das DXF ist der aktuelle Industriestandard und umschreibt ein Modell in Textform nach dem ASCII-Standard. Dieser wurde von Autodesk entwickelt und wird deshalb nur von den Herstellern und beispielsweise nicht durch das DIN gepflegt [Jed08, S. 13]. Das DXF kann ohne Probleme in jede CAD-Software importiert oder aus dieser exportiert werden, jedoch kann es bei einzelnen Programmen zu Darstellungsfehlern kommen, falls diese lediglich einen 2D-Import ermöglichen.

## Kapitel 3

# Stand der Forschung und Technik

Das folgende Kapitel befasst sich mit dem Stand der Forschung und Technik des CAD. Es werden die einschlägigen Entwicklungen seit der Entstehung des CAD vorgestellt und beschrieben. Die Forschungsgeschichte wird dabei durch eine chronologische Herangehensweise in den Forschungsstand vor der Jahrtausendwende und in ebendiesen nach der Jahrtausendwende aufgliedert. Somit erhält der Leser einen Überblick über den vergangenen und aktuellen Stand und kann das weitere Vorgehen nachvollziehen.

Die digitale 3D-Rekonstruktion in der Archäologie und die 3D-CAD-Modellierung wenden vor allem die Methoden und Systeme an, die im Rahmen des umfassenderen und allgemeineren Feldes der Computergraphik entwickelt wurden [Ste17, S. 1]. Als Grundlage für die historischen Entwicklungen dienten die Publikationen von H. Stenzel [Ste17], Hemmerling und Bähre [HB20] und Gänshirt [Gä20], die jeweils eine ausführliche Übersicht über die Entstehung und CAD-Grundlagen bieten. Ebenfalls K. K. Fallon schrieb in ihrem Artikel in den *IEEE Annals of the History of Computing* über die vergangene Forschung des CAD mit ihrer Anwendung in Ingenieurbüros [Fal98].

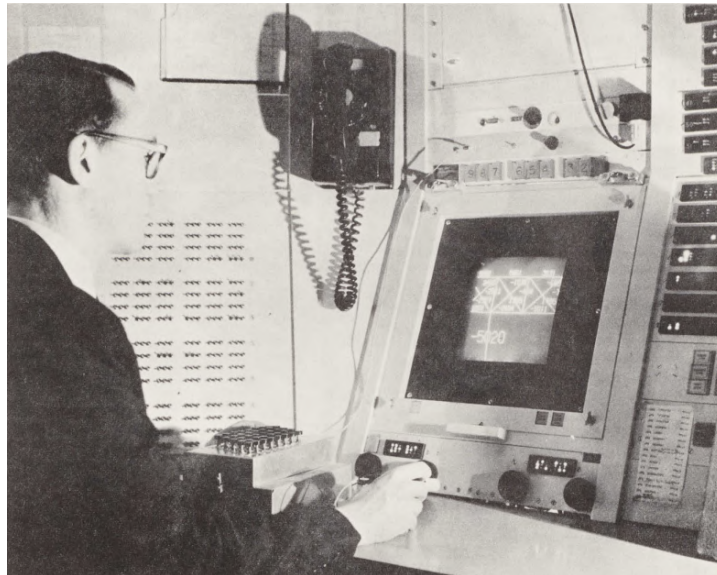
### 3.1 Vor der Jahrtausendwende

In der Vergangenheit durchlief das CAD verschiedene Stadien, die in der Fachliteratur als Generationen betitelt werden [Zec92]. Die Ursprünge des CAD und dessen erster Generation gehen zurück in das Jahr 1963, als insbesondere die Computergraphik ins Zentrum der Arbeiten an den Technikinstituten geriet. Ivan E. Sutherland, damals Doktorand am Massachusetts Institute of Technology (MIT), schrieb im Rahmen seiner Doktorarbeit das Programm *Sketchpad*, dessen Ziel eine verbesserte Mensch-Maschinen-Interaktion war [Sut63]. Durch einen Lichtstift zeichnete man 2D-Geometrien (Linien und Kreise) in einer grafischen Oberfläche und konnte Befehle mit Hebeln ausführen. Abbildung 3.1 zeigt Sutherland selbst vor dem Rechner, während er einen dieser Hebel betätigt. Elemente konnten in *subpictures* (Instanzen) zusammengestellt werden und durch Änderung der Objekte wurden auch die Instanzen angepasst. Heute spricht man bei diesem Vorgang von objektorientierter Modellierung und Planableitungen, auf die im vorausgegangenen Grundlagenkapitel bereits näher eingegangen wurde. *Sketchpad* wird als Fundament aller graphisch-interaktiven Anwendun-

### 3. STAND DER FORSCHUNG UND TECHNIK

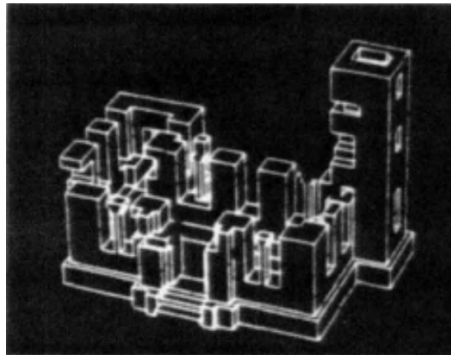
---

gen verstanden, da seine Techniken in den folgenden Jahren adaptiert und ausgereift wurden [HB20, S. 24].



**Abbildung 3.1:** Ivan Sutherland, der die Hebel des am MIT entwickelten TX-2-Computer bedient. Auf dem Monitor ist die grafische Oberfläche der Software Sketchpad zu sehen. Quelle: [Sut63, S. 11].

Lawrence Roberts, der ebenfalls am MIT seine Dissertation schrieb, gelang es in demselben Jahr, aus zweidimensionalen, identifizierten Punkten eines Bildes 3D-Koordinaten, Kanten und ein Polygon durch den Computer berechnen zu lassen. Außerdem ergänzte er Sutherlands 2D-Datenstrukturen um 3D-Operationen. Unter Anwendung von Transformationsmatrizen berechnete er zweidimensionale Ansichten von 3D-Modellen aus verschiedenen Perspektiven [Rob63]. Die Datenstruktur bestand dabei aus den Matrizen und deren Inversen sowie Instanzen von Objekt-Definitionen. Des weiteren gilt er als Pionier der Algorithmen, die für das Entfernen verdeckter Bildteile verantwortlich sind. Somit konnte zwischen der Darstellung als Wireframe-Modell und Festkörpermodell gewechselt werden und für den Betrachter nicht sichtbare Modellteile waren in den berechneten Perspektiven je nach Darstellungsart von dem Volumen verdeckt [Ste17, S. 4]. Ihm gelang es daher erstmals überhaupt, perspektivische Geometrien und Matrizen miteinander zu verbinden, waren diese beiden zuvor unabhängig voneinander auf der Welt zu finden [HMG<sup>+</sup>89, S. 59]. Allerdings geriet auch seine Technik bei der Erzeugung von 3D-Modellen größerer Bauwerke an ihre Grenzen, denn dabei wurden einzelne Kanten nicht erfasst und dementsprechend in der Darstellung ausgelassen [HMG<sup>+</sup>89, S. 60].



**Abbildung 3.2:** Von Roberts angefertigte Rekonstruktion eines Schlosses, um die Leistungsfähigkeit seines Systems zu prüfen. Quelle: [HMG<sup>+</sup>89, S. 61]

Die Modellierungssysteme der 1960er Jahre bildeten die Objekte überwiegend als Drahtmodell ab und konnte deshalb keine weiterführenden Informationen wie Oberflächenbeschaffenheiten speichern [WK11, S. 1468]. CAD fand vor allem in Militär, Flugzeug- und Automobilindustrie seine Anwendung und in den siebziger Jahren entwickelten Ingenieure der *French Dassault aircraft company* basierend auf einem zweidimensionalen System ein 3D-Modellierungssystem, das unter dem Namen *CATIA (Computer Aided Three Dimensional Interactive Application)* bekannt wurde und bis heute im Flugzeug- und Automobilbau eingesetzt wird [Gä20, S. 304]. Diese Software bot dem Nutzer mehr Möglichkeiten, als nur Projektionen eines 3D-Modells aus verschiedenen Blickwinkeln und wurde erstmals von dem Architekten Frank O. Gehry in den 1980er Jahren zur Planung in der Architektur angewendet [WK11, S. 1468]. In der ersten Generation, ab den sechziger Jahren bis in die neunziger Jahre, war CAD auf die Arbeit in 2D fokussiert und kam in kleinen Schritten der 3D-Modellierung näher. Jedoch blieb die CAD-Software lediglich großen Architekturbüros vorbehalten, die über die nötigen Mittel verfügten, Hardware, Software und die Schulung der Mitarbeiter zu unterhalten. Trotz dessen wurde CAD als reines 2D-Zeichenwerkzeug verstanden und imitierte bereits tradierte, analoge Methoden des Entwurfs und der Darstellung. Mit der Zeit prägte sich der Begriff *Computer Aided Drafting*. Aus dem *Computer Aided Drafting* wurde jedoch ab Mitte der achtziger Jahre das *Computer Aided Design*, da neue Funktionen und einfache 3D-Objekte für mehr Freiheit und Variation in der geometrischen Ausarbeitung eines Entwurfs sorgten [HB20, S. 24]. Im Jahre 1979 wurde die erste Solid Modeling-CAD/CAE-Software *I-DEAS* veröffentlicht. Diese Methode der Festkörpermodellierung galt als technologische Revolution, obwohl die Rechnerleistung der damaligen Zeit nur eine sehr langsame Ausführung der Befehle der Modellierung in Echtzeit möglich machte [WK11, S. 1468]. Erst mit der Entwicklung der Hard- und CAD-Software war diese Modellierungsweise im dreidimensionalen Raum und folglich das Verarbeiten und Erstellen von 3D-Datensätzen möglich geworden. Dieser Entwicklungsschritt markiert das CAD der 2. Generation. Frühe Festkörpermodelle waren durch ihre Kanten- und Flächendarstellung in der Zeichenfläche repräsentiert und erst später folgte die Darstellung als Volumenmodell in 3D und die zusätzliche Möglichkeit der Texturierung und der Lichtsimulation. Dennoch blieb CAD weiterhin auf die Erzeugung von technischen Zeichnungen in 2D ausgelegt und

nicht auf die Erstellung von *Constructive Solid Geometry* CSG (Konstruktive Festkörpergeometrie) [HB20, S. 4].

Die parametrische Festkörper-Modellertechnik wurde erstmals in den 1980er Jahren von Entwicklern der *CV corporation* entwickelt, jedoch von dem Unternehmen abgelehnt und somit gründeten diese das Unternehmen *PTC*. Die dort entwickelte Software *Pro/E* wurde bis in die Neunziger Jahre ausgereift und verbesserte die Modellertechnik schrittweise [WK11, S. 1468]. Als erste CAD-Zeichensoftware auf dem Markt gilt das 1982 veröffentlichte Programm *AutoCAD*<sup>1</sup> von Autodesk, das über diese Technik verfügte, in seinen Anfängen ebenfalls jedoch überwiegend für 2D-Zeichnungen von Architekten und Ingenieuren verwendet wurde. Im Zuge der objektorientierten Programmierung rückte auch die objektorientierte Modellierung und die Parametrisierung in den Neunziger Jahren in den Vordergrund. Auch in CAD arbeitete man nun vermehrt objektorientiert und es kamen weitere Funktionen hinzu [HB20, S. 38]. Das Objektorientierte Modellieren bezeichnet die Verwendung von intelligenten, parametrisierten Architekturobjekten, die sich durch ihre Einstellungen an vorher festgelegten Bedingungen ausrichten, wie in Kapitel 2.3.1 bereits aufgezeigt wurde. Ein Objekt wird durch seine Parameter definiert, die sich nicht auf Grundeigenschaften wie Breite, Höhe und für den dreidimensionalen Raum Tiefe beschränken. Inzwischen bilden diese Techniken die Grundlage der gängigen CAAD-Programme und unterstützen die Arbeit eines Planers umfangreich mit diversen Werkzeugen und Funktionen in 2D, 3D und weiteren Dimensionen [HB20, S. 38].

Hinzu kam die Programmierschnittstelle *OpenGL* in den Neunzigern auf den Markt und bildete von nun an die gängige Graphikbibliothek für grafische Anwendungssoftwares, wie bereits innerhalb des Grundlagenkapitels aufgezeigt wurde. Dadurch entstanden weiterführende Werkzeuge und Befehle zur Manipulation von geometrischen Formen, aber auch Freiformen wie NURBS [Ste17, S. 10]. Diese dritte Generation war geprägt von einer gesteigerten Interaktion zwischen Mensch und Maschine, die jede Änderung des Datensatzes direkt sichtbar machte [Zec92, S. 38].

Neben dem sich weiter verbreitenden CAD in Architekturbüros wurde dieses in der Archäologie als Zeichenmaschine für 2D-Visualisierungen eingesetzt [Fis08a]. Insbesondere *AutoCAD* wurde für Architektur-Rekonstruktionen eingesetzt [Ric98]. Ab den Neunzigern wurde CAD nach Hemmerling „(...) zum Standard in den Architekturbüros“ [HB20, S. 24], wobei die Erzeugung von 2D-Zeichnungen noch die übliche Praxis war [Pah90, S. 47]. Weitere frühe CAD-Softwares werden in dem Artikel *Architecture Design of CAD Platform* von Z. Wenzhi und H. Ketai innerhalb der sechsten IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications vorgestellt [WK11].

Als bedeutendes CAD-Grundlagen-Werk behandelt G. Pahl in seinem *Konstruieren mit 3D-CAD-Systemen* von 1990 die Grundlagen, die Arbeitstechnik und die Anwendungen von CAD. Somit dient sein Buch als Leitfaden für den Konstrukteur und Studenten für die 3D-CAD-Modellierung [Pah90]. Theoretisch befasst sich Gerhard Schmitt, Architekt und Autor der Bücher-Trilogie mit den Teilen *Architectura et Machina* von 1993 und *Architectura cum Machina* von 1996 mit CAD und beschreibt vor allem in dem zweiten Band sehr ausführlich,

---

<sup>1</sup><https://www.autodesk.com/products/autocad/overview?term=1-YEARtab=subscription>. Abgerufen am 30.06.2022.



wie mit dem Computer im Rahmen von CAD gearbeitet wird und die Disziplinen Architektur und Rechner voneinander profitieren. Er stellte darin fest, dass der Computer sich für bestimmte Arbeiten der Architektur ideal eignet, für andere jedoch auf geeignetere Methoden zurückgegriffen werden sollte. Er versuchte dadurch zudem, die kritische Sicht auf die Verwendung der Maschine in dem Zusammenhang mit dem Entwurf und der Konzeptfindung zu entspannen, würde doch der Computer den Menschen überflüssig machen. Der Computer gilt ihm nach als Werkzeug, das die Arbeit des Menschen vereinfacht und unterstützt [Sch96]. Band eins der Trilogie befasste sich noch mit den Disziplinen unabhängig voneinander [Sch93]. Seine Arbeit trug unweigerlich zur Computer-Forschung in Zusammenhang mit der Architektur bei.

## 3.2 Neuere Forschung

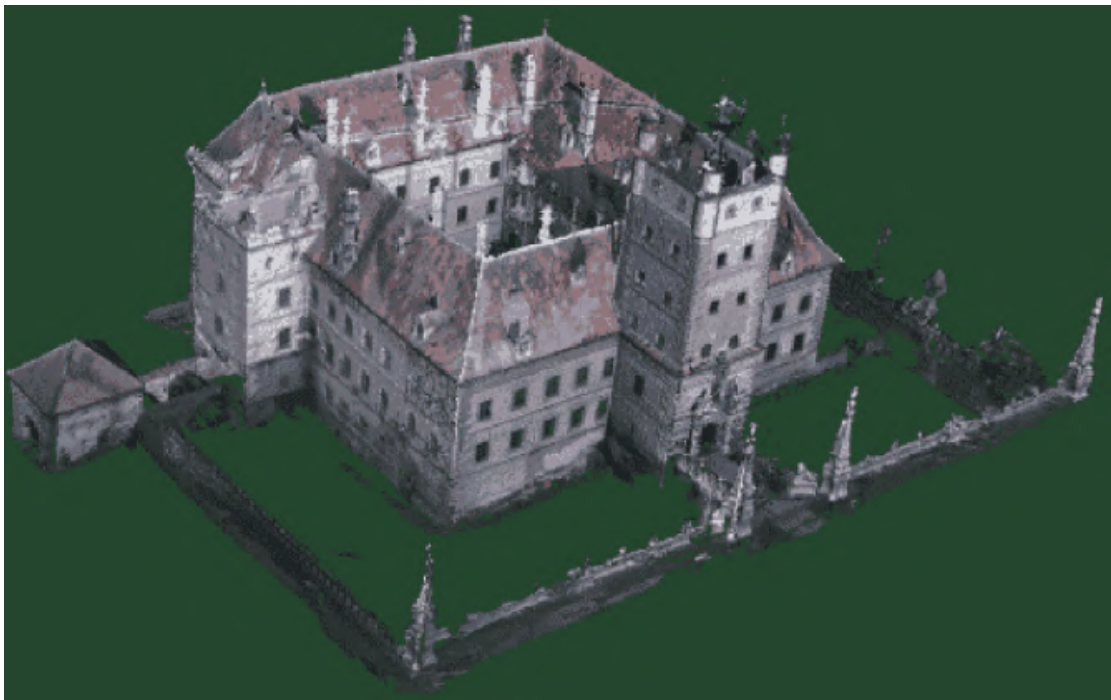
Bereits im Zuge der Entwicklungen vor der Jahrtausendwende entstanden neben dem CAD und seinen Modellieretechniken wichtige Verfahren zur Bestandserfassung. Diese ist zwingend beim Bauen im Bestand erforderlich. Aus dem manuellen Aufmaß, das bereits innerhalb der Grundlagen vorgestellt und für den methodischen Teil der Arbeit verwendet wurde, entwickelte sich die digitale Bestandserfassung.

Die Ursprünge der erleichterten Vermessung von Bauwerken bestand in der Tachymetrie<sup>2</sup>, bei der Punkte eines bestehenden Gebäudes beispielsweise mit dem Einsatz von Reflektoren aufgenommen, deren Entfernungen zueinander und Winkel durch die Polarkoordinaten berechnet werden können. Da dieses Vorgehen im Vergleich zu der tradierten Methode eine Zeitersparnis mit sich bringt, erhielt die Tachymetrie ihren Namen (Dt. Schnellmessung). Digitale Verfahren zur Bestandserfassung wie der Photogrammetrie, die durch die Automatisierung der Tachymetrie entstanden [HMBKK20, S. 13], und des Laserscannings beschreiben die Lage von Punktmengen zueinander [HMBKK20, S. 33]. Innerhalb der Auswertung dieser Informationen, die computergestützt erfolgt, kann ein Modell erzeugt werden, das zum Beispiel aus einem 3D-Mesh besteht. Diese Techniken finden insbesondere in der Archäologie und Architektur ihre Anwendung.

Bei einem terrestrischen Laserscanning werden Oberflächen vom Boden aus gescannt und dadurch dreidimensional vermessen. Die Position des Lasers kann im Verlauf des Scanvorgangs verändert werden und erlaubt so die Vermessung von Gebäudeseiten und Innenräumen. Durch den Scan entsteht eine Punktwolke mit einer Vielzahl an Punkten, die in der anschließenden Auswertung zu einem Gesamtabbild als Bestandsmodell zusammengesetzt werden kann [HMBKK20, S. 13]. Die Abbildung 3.3 zeigt das Ergebnis eines Laserscans. Ausschlaggebend für die Nutzung des Laserscans ist die Zeitersparnis, die durchschnittlich bei 40 Minuten pro Wohneinheit liegt [Gü20, S. 44].

---

<sup>2</sup>Griech. *tachýs* schnell



**Abbildung 3.3:** Ergebnis eines Laserscans. Quelle: [Thu04, S. 31]

Bei der Photogrammetrie werden Fotografien erzeugt, aus denen anschließend „(...) die Lage und Geometrie räumlicher Objekte ermittelt werden“ können. Die Aufnahmen können von verschiedenen Standorten erzeugt werden und ergeben bei der Auswertung eine Ableitung der 3D-Koordinaten der Objektpunkte. Durch Mehrbildaufnahmen wird die Genauigkeit gesteigert, da sich mehrere Bildpunkte überschneiden und daraus ein Bezugskordinatensystem berechnet werden kann [HMBKK20, S. 16f.]. Bei Einbildaufnahmen entstehen perspektivisch verzerrten Bilder, die nach dem Entzerren in eine orthogonale Ansicht das direkte Abgreifen von Position, Entfernung und Winkeln erlauben [Thu04, S. 28].

Die computergestützten Aufmaßsysteme können direkt mit dem Laser, digitalen Kameras und anderen Geräten verbunden werden und verhindern somit den am häufigsten auftretenden Ablesefehler [HMBKK20, S. 32].

#### 3.2.1 CAD-Software

Auch der Markt hat sich bezüglich der CAD-Software erheblich erweitert. Mit Fortschreiten der Zeit differenzierten sich die Produkte durch unterschiedliche Schwerpunkte und Funktionen, allen voran die 3D-Modellierung. Neben dieser lassen sich Animationen, Simulationen sowie Visualisierungen in Form von Renderings erzeugen [HB20, S. 25].

Neben der ersten CAD-Software *AutoCAD*, die ein reines branchenübergreifendes Zeichenwerkzeug bildet, entwickelte Autodesk eine weitere Software namens *Revit*, die explizit auf das Bauwesen abgestimmt ist und somit gemäß Angaben des Herstellers „(...) alle Phasen

und Gewerke eines Bauprojektes umfasst.“ *Revit* unterstützt zusätzlich Building Information Modeling (BIM) und arbeitet mit intelligenten Objekten<sup>3</sup>. Zu diesen namhaften Softwares reiht sich die für den praktischen Teil der Arbeit verwendete CAD-Software *Vectorworks* ein. Aktuell befindet sich die Software in der Version 2022 und wurde 1985 ins Leben gerufen. Damals wurde sie von dem Unternehmen *Diehl Graphisoft Inc.*<sup>4</sup> unter dem Namen „MiniCAD“ für Apple Macintosh entwickelt, jedoch Anfang des Jahres 2000 von dem börsennotierten Softwareunternehmen *Nemetschek Group* aufgekauft. Dieses Unternehmen entwickelt Software, um die AEC/O-Industrie (Architecture, Engineering, Construction, Operations) zu digitalisieren<sup>5</sup>. *Vectorworks* ist eine umfassende CAD- und BIM-Software, die je nach Anwendungsbereich unterschiedliche Funktionen bereitstellt. Es stehen vier Branchenversionen zur Verfügung, die sich in die Bereiche *Architektur*, *Landschaft* (Landschaftsarchitektur), *Spotlight* (Eventplanung) und *Interiorcad* (Schreinerei, Innenausbau) gliedern. Gerade (Innen- und Stadt-)Architekten unterstützt *Vectorworks Architektur*<sup>6</sup> von der ersten bis zur fünften Leistungsphase und verbindet Entwerfen, Planen, Ausführen und Präsentieren in einer Software. Visualisierungen werden durch Cinema 4D-Technologie<sup>7</sup> umgesetzt. Vor allem bezüglich der Plangrafik stehen dem Entwerfenden alle Türen offen. Durch Farben, Texturen, Transparenz, Schatten und diverse Schraffuren- und Linientypen können Plansätze ohne die Benutzung weiterer Software-Schnittstellen erzeugt werden. *Vectorworks* integriert bereits Schriftformatierungen, Bildbearbeitungsfunktionen und *Virtual Reality/Augmented Reality*-Technologien, sodass auch hier nicht zwingend auf weitere Software zurückgegriffen werden muss und ein Bauprojekt allumfassend, insbesondere durch virtuelle Begehungen, präsentiert werden kann. Ebenfalls lassen sich Kostenberechnungen nach DIN276 aufstellen und Tabellen generieren.

### 3.2.2 Building Information Modeling

CAD bietet dem Nutzer bereits wesentliche Vorteile gegenüber einer Entwurfs- und Planungsphase, die traditionell von Hand mit Stift und Papier ausgeführt wird. Da diese zweifelsfrei durch den Computer ersetzt wurden, stellt sich jedoch die Frage, weshalb die Deutsche Bauindustrie auch im 21. Jahrhundert hinter denen anderer Länder herhinkt und wie man diese Hürde überwinden kann. Gründe dafür werden in der Fachliteratur angeschnitten und beschuldigen vor allem die erhebliche Fragmentierung der Bauindustrie. Bei einem Projekt sind neben dem Planer eine Vielzahl an beteiligten Einzelakteuren tätig, die je nach Vorhaben variieren. Wurden früher Stahlstangen selbst auf der Baustelle gebogen, so müssen diese inzwischen bei einem Anbieter bestellt und zugeliefert werden<sup>8</sup>. Ein weiteres großes Problem ist der bereits genannte CO<sub>2</sub>-Ausstoß, der Energie- und der Ressourcenverbrauch<sup>9</sup>, der durch das Baugewerbe erheblich in die Höhe getrieben wird. Hinzu kommen Kosten- und

<sup>3</sup> <https://www.autodesk.de/solutions/revit-vs-autocad>. Abgerufen am 30.06.2022.

<sup>4</sup> <https://graphisoft.com/es/press-releases/gsdg>. Abgerufen am 30.06.2022.

<sup>5</sup> <https://www.nemetschek.com/de/unternehmen/ueber-uns>. Abgerufen am 30.06.2022.

<sup>6</sup> <https://www.computerworks.de/produkte/vectorworks/vectorworks-architektur/architektur-bim.html>. Abgerufen am 30.06.2022.

<sup>7</sup> <https://www.maxon.net/de/cinema-4d>. Abgerufen am 30.06.2022.

<sup>8</sup> W. Bühler, persönliche Kommunikation, 19. Mai 2022.

<sup>9</sup> vgl. Abschnitt 2.2.2

Terminüberschreitungen sowie Fehler in der Konstruktion, die die Umwelt unnötig belasten. Für diese und weitere Probleme soll *Building Information Modeling* (BIM) endgültig die Lösung sein [HB20, S. 18]. In Europa gelten Großbritannien und die Niederlande als Vorreiter und schon 2011 wurden durch eine Norm im Bau- und Planungssektor Ansätze verfestigt, die inzwischen nicht nur auf öffentliche Bauten angewendet werden müssen, sondern auch privatwirtschaftlich [And17, S. 52]. Somit ist die öffentliche Hand die treibende Kraft hinter dem Einsatz von BIM. Schon im Jahre 2016 lag die Verwendung der Arbeitsmethode bei 30 bis 50 Prozent und dem gegenüber gestellt in Deutschland eine geringe Abwicklungsquote von lediglich 10 bis 15 Prozent aller Bauprojekte [GB16, S. 8]. Zwischen 2017 und 2019 waren es nur noch 9 Prozent, wie aus einer 2019 durchgeführten Studie hervorging, in der Führungskräfte aus den Bereichen Entwerfen, Bauunternehmen und Anlagenbau befragt worden waren [Gmb19, S. 11].

Gemäß des Stufenplans *Digitales Planen und Bauen* des deutschen Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), die eine stufenweise Einführung der BIM-Methode planen, ist BIM seit 2015 so definiert [Inf15]:

*„Building Information Modeling bezeichnet eine kooperative Arbeitsmethodik, mit der auf der Grundlage digitaler Modelle eines Bauwerks die für seinen Lebenszyklus relevanten Informationen und Daten konsistent erfasst, verwaltet und in einer transparenten Kommunikation zwischen den Beteiligten ausgetauscht oder für die weitere Bearbeitung übergeben werden.“*

BIM ist demnach eine strategische Herangehensweise, die auf Grundlage eines digitalen Gebäudedatenmodells Aspekte des Planens, Bauens und des Betriebes eines Bauwerks über seinen Lebenszyklus hinweg verbindet. Im Vordergrund dabei steht vor allem der Austausch zwischen den Baubeteiligten [HB20, S. 19].

Den Kern für BIM bildet ein *Building Information Model* (Gebäudedatenmodell) das ein Gebäude in 3D repräsentiert. Um dieses effizient nutzen zu können, wird ausschließlich mit 3D-Objekten gearbeitet. Man spricht deshalb auch von einer „modellorientierten Planungsmethodik“. Somit wird ein Gesamtentwurf abgebildet, der Änderungen und Abhängigkeiten insbesondere durch die Parametrisierung sofort sichtbar macht. Digitale 2D-Entwürfe müssen hingegen in jeder Ansicht und jedem Grundriss separat gezeichnet werden und bergen das Risiko für Fehler und Unstimmigkeiten. An die erzeugte 3D-Geometrie können weitere Daten angefügt werden, um sie allumfassend zu beschreiben. Gerade hierfür eignen sich intelligente Architektur-Objekte besonders. Wände, Böden und Decken werden durch Materialien, bauphysikalische Eigenschaften und Kosten spezifiziert und das digitale Modell repräsentiert das Bauwerk als Ganzes. Das *Building Information Model* kann darüber hinaus Bauteillisten ausgeben und ist somit ein wichtiges Hilfsmittel bei der Berechnung der Kosten nach DIN276. Durch Simulationen, die den Energieverbrauch und den Tageslichteinfall berechnen, kann das Gebäude im Rahmen seines Lebenszyklus analysiert werden. Durch die Organisation der Daten in einem gemeinsamen Satz haben alle Beteiligten Zugriff auf diese und können ihre individuellen Informationen bereitstellen. Damit wird gewährleistet, dass die am Bau Beteiligten auf demselben Stand sind und jegliche Änderungen sofort abgeglichen werden können. Als gängigen Standard hat sich hierfür das IFC-Format zum Datenaustausch bewährt. Die

Objekte werden innerhalb der CAD- und/oder BIM-Software mit einer IFC-Ordnerstruktur verbunden, sodass diese beispielsweise als IFC-Wand in der Datenbank gesichert sind. Um ein *Building Information Model* zu betrachten, muss ein separater Viewer (z.B. Solibri<sup>10</sup>) hinzugezogen werden. In dieses grundlegende Modell, das aus Geschossen aufgebaut ist, können weitere Fachplaner ihre (Teil-)Modelle einpflegen. Dies kann zum Beispiel ein Modell der Abwasserleitungen sein. Nur wenn die Interessengruppen sich offen und intensiv austauschen, kann das Bauvorhaben erfolgreich umgesetzt und abgenommen werden. Dies bewirkt vor allem eine Veränderung der Arbeitsweise, von der Fragmentierung zur Zusammenarbeit in allen Leistungsphasen.

BIM steht deshalb für eine veränderte Arbeitsweise mit digitalen Werkzeugen, die durch Kooperation und Kommunikation der Mitwirkenden unter Anderem den Entwurfs- und Planungsprozess optimiert und auf eine nachhaltige Produktion abzielt [HB20, S. 20f.]. BIM leitet somit ein neues und umfangreiches digitales Bauen ein und weist den Weg in die Zukunft.

### 4D, 5D, 6D

Wird ein 3D-Modell eines geplanten Neubaus mit weiteren Informationen versehen, spricht man von einem 4D-, 5D- oder sogar 6D-Modell. Im Rahmen des BIM werden diese Modelle eingesetzt, um insbesondere die Kommunikation zwischen den Interessengruppen, den konfliktfreien Bauablauf und das Controlling des Projekts zu unterstützen. Sie ergänzen dementsprechend den methodischen Vorgang informativ und visuell. Grundlegend lässt sich sagen, dass diese Modelle erst vor oder während der Ausführungsplanung entstehen, wenn ein Projekt mit BIM bearbeitet wird.

Ein **4D-Modell** bildet sich aus der Kombination eines 3D-Modells mit der Bauteil- oder Bauablaufe Ebene. In einem Bauablauftermin werden alle Bauabschnitte des Bauablaufs schriftlich und detailliert untergliedert festgehalten. Dieser Bauablauftermin wird mit dem Modell verknüpft und Bauteile können entsprechend des aktuellen Bauabschnitts eingefärbt und hervorgehoben werden. Den Beteiligten wird durch den visualisierten Soll-Zustand einfach vermittelt, welches das nächste Vorhaben auf der Baustelle ist. Deshalb ist es bedeutsam, dass alle wichtigen Bauteile, aber auch Baustelleneinrichtungen (z.B. Gerüst) modelliert werden und das Modell sowie der Terminplan vollständig sind. [BKK21, S.399f.].

Bei einem **5D-Modell** werden zusätzlich die erbrachten Leistungen mit den Soll-Leistungen der Leistungsverzeichnisse der Vergabe verglichen. Dies sorgt für Transparenz und macht eine erbrachte Leistung genauer feststellbar, als dass vor Ort nachgemessen werden muss. Der Zahlungsstand kann in das Modell integriert werden und zeigt auf, welche Leistungen oder Bauteile in Rechnung gestellt werden. Die Beteiligten behalten den Überblick über die Kosten, können diese kontrollieren oder bei möglichen Überschreitungen intervenieren [Sch16, S. 46].

Über den Lebenszyklus eines Gebäudes hinweg werden betriebsrelevante Daten in Datenbanken gesammelt, die vor allem die Nachhaltigkeit und Effizienz berücksichtigen. Diese Datenbanken können das Modell ebenfalls ergänzen und geben unter anderem Auskunft über

---

<sup>10</sup> <https://www.solibri.com/de/>. Abgerufen am 30.06.2022.

mögliche Wartungen. Ein solche Verknüpfung eines Modells mit der Nachhaltigkeitsebene wird **6D-Modell** genannt [MH18, S. 14].

BIM-fähige CAD-Systeme beschränken sich nicht auf die Anwendung von 2D und 3D, sondern erweitern diese um weitere Dimensionen. Diese tragen dazu bei, dass ein Modell vollständig und nachvollziehbar ist und demnach alle relevanten Informationen für den gesamten Lebenszyklus (von Errichtung bis Abriss) eines Gebäudes vorweisen kann.

### 3.3 Zwischenfazit

Seit den neunziger Jahren hat sich an den Grundlagen des CAD nicht sonderlich viel geändert. Bereits vorgestellte Techniken wurden verfeinert und durch die erhöhte Hardware-Leistung schneller und erweitert. Der Computer hat inzwischen seine feste Position am Arbeitsplatz eines Architekten und eine geeignete CAD-Software ist installiert. Gerade um die Nutzung nicht auf das Zeichenwerkzeug zu beschränken, sollte die Software umfangreich ausgeschöpft werden.

Die Forschungsergebnisse der vergangenen Jahrzehnte sind überwiegend technischer Natur und basieren auf der Entwicklung von neuen Algorithmen, mit denen neue Methoden und Dimensionen zur Verfügung stehen. Für den konkreten Ablauf, wie vorzugehen ist, wenn 2D-Unterlagen, aber keine 3D-Daten vorhanden sind, fehlt es an wissenschaftlicher Literatur. Insbesondere, wenn nicht auf eine digitale Bestandserfassung zurückgegriffen wird, die mit Hilfe eines 3D-Lasers vorgeht. Deshalb bietet dies die Legitimation der Ausarbeitung und soll damit die vorhandene Lücke schließen. Im Zuge dieses Vorgehens wird die Frage beantwortet, ob grundsätzlich in einem Architekturbüro in 3D gearbeitet werden sollte.

## Kapitel 4

# Grundlagenermittlung und Vorplanung

Die nachfolgenden zwei Kapitel beschreiben den praktischen Teil, der im Rahmen der Arbeit in Zusammenarbeit mit dem *Planungsbüro Bühler und Partner* in Tübingen durchgeführt wurde. Das darin beschriebene Vorgehen ist als Beispiel des Vorgangs zu sehen, wenn keine 3D-Daten eines Gebäudes zur Verfügung stehen und man auf Basis von alten, manuell angefertigten Plänen ein 3D-CAD-Modell mit parametrisierten, intelligenten Architekturobjekten und Geschossen erzeugt. Aus dem digitalen Abbild des physischen Bauwerks wurde ein Baugesuch mit den benötigten Plänen generiert, das bei der zuständigen Behörde, dem Bauamt der Universitätsstadt Tübingen, zur Prüfung eingereicht wurde. Das Bauvorhaben sowie der Bauantrag zur Errichtung des Gebäudes von 1899 werden vorgestellt, sodass der Leser eine Vorstellung von dem Bauwerk erhält. Bei diesem handelt es sich um ein Bauernhaus, das eine Scheune und einen Anbau besitzt. Dieser Anbau und die Scheune werden nicht mehr in ihrer ursprünglichen Funktion genutzt und dienen überwiegend als Lagerraum oder stehen leer, sind aber auf Grund ihres Zustandes nicht kurzer Hand als Wohnraum verwendbar, zumal diese Änderung einer Baugenehmigung unterliegt. Um diesen Raum sinnvoll einzusetzen, wurde eine Nutzungsänderung entworfen und befindet sich nun in der Planung und Ausführung. Insbesondere der Anbau soll zu Wohnraum umfunktioniert werden und spendet dadurch ausreichend Raum, um in dem Wohnhaus eine zweite Wohneinheit unterzubringen, die für zusätzliche Mieteinnahmen sorgen wird. Die Kosten, die für die Baumaßnahme entstehen, sind deshalb nicht als Ausgaben zu sehen, sondern viel mehr als Investition<sup>1</sup>. Der Inhalt dieses Kapitels widmet sich der Grundlagenermittlung und der Vorplanung und somit den ersten beiden Leistungsphasen nach HOAI, die bereits in Kapitel 2.2.3 vorgestellt wurden. Beide Phasen müssen nicht zwingend linear aufeinander abfolgen, sondern können und werden generell ineinander greifen. Deshalb werden die wichtigsten Punkte wie das Bauvorhaben, die Pläne von 1899, das erste Aufmaß und das theoretische Vorgehen von 2D auf 3D präsentiert und beschrieben. Im darauf anschließenden Kapitel 5 wird dieses angewendet und in Vectorworks Schritt für Schritt umgesetzt.

---

<sup>1</sup>W. Bühler, persönliche Kommunikation, 15. April 2022.

### 4.1 Ländliche Bauform

Zu der Grundlagenermittlung des Planers gehört die Auseinandersetzung mit dem Gebäudetyp und der Historie dahinter, die in diesem Abschnitt näher ausgeführt wird. In der Vergangenheit wurden die ländlichen Gebiete vermehrt von Zweckbauten geprägt, die aus einer Kombination des Wohn- und des Wirtschaftsteils bestanden. Bei diesen handelt es sich um Bauernhäuser, in denen in der angrenzenden Scheune (Scheuer) das Erntegut verarbeitet und gelagert wurde. Innerhalb der Scheune wurde zudem Klein- und Großvieh gehalten und der Hühnerstall war meist angebaut oder abseits des Haupthauses. Aus diesem Grund stand die ästhetische Gestaltung nicht im Vordergrund. Die Materialien stammten aus dem regionalen Umkreis des Gebäudes und das Handwerk des Fachwerks bewährte sich als Konstruktionselement [HR02, S. 48]. Auch heute zählt die Verarbeitung von Holz global noch immer zu den wichtigsten Wirtschaftszweigen [LR18, S. 19].

Bei einem *Fachwerkbau* bestehen die Wände aus einem Holzgerippe (z.B. Kiefer), das eine tragende Funktion hat und den dazwischen liegenden Gefachen, die durch regionale Baustoffe, Zementziegel oder Holzgeflecht mit darüberliegendem Lehmputz geschlossen werden. Diese bieten Witterungs-, Schall- und Brandschutz. Grundsätzlich besteht eine Fachwerkwand aus einem Rahmen, Pfosten (vertikal, wandhoch), Riegeln (horizontal) und Streben, die diagonal eingebaut werden. Türen und Fenster werden zwischen den Pfosten eingesetzt, sodass bei Konstruktion bereits feststehen sollte, wo diese platziert werden [LR18, S. 65-66]. Diese Technik basiert auf dem Flechtwerk der Steinzeit und wurde durch neue Werkzeugergefindungen ausgebildet [LR18]. Abbildung 4.1 zeigt die Außenwand der Scheune, die die gefüllten Gefache mit Zementziegelsteinen und im oberen Giebelbereich mit Kalkbruchstein zeigt.



**Abbildung 4.1:** Außenwand der Scheune des Bauobjekts mit sichtbarem, konstruktivem Fachwerk. Die unteren Gefache sind mit Mauerwerk aufgefüllt, die Giebelgefache mit Kalkbruchstein und darüber aufgetragenem Lehmputz.



Allerdings bieten diese Hausformen nicht mehr ausreichend Platz für einen landwirtschaftlichen Betrieb und werden vermehrt abgerissen oder derart verändert, dass ihre ursprüngliche Bausubstanz verloren geht oder nicht mehr zu erkennen ist. „So verschwinden sang- und klanglos die letzten Zeugen unserer ländlichen Baukultur“ [Sch76, S. 100]. Gerade ihr Erhalt wird über den Denkmalschutz geregelt, der bedeutende Werke als Kulturgut auch noch für die Nachwelt bewahrt. Dieser Haltung entgegengesetzt steht die Nutzbarmachung von leerstehendem Raum zu Wohnraum.

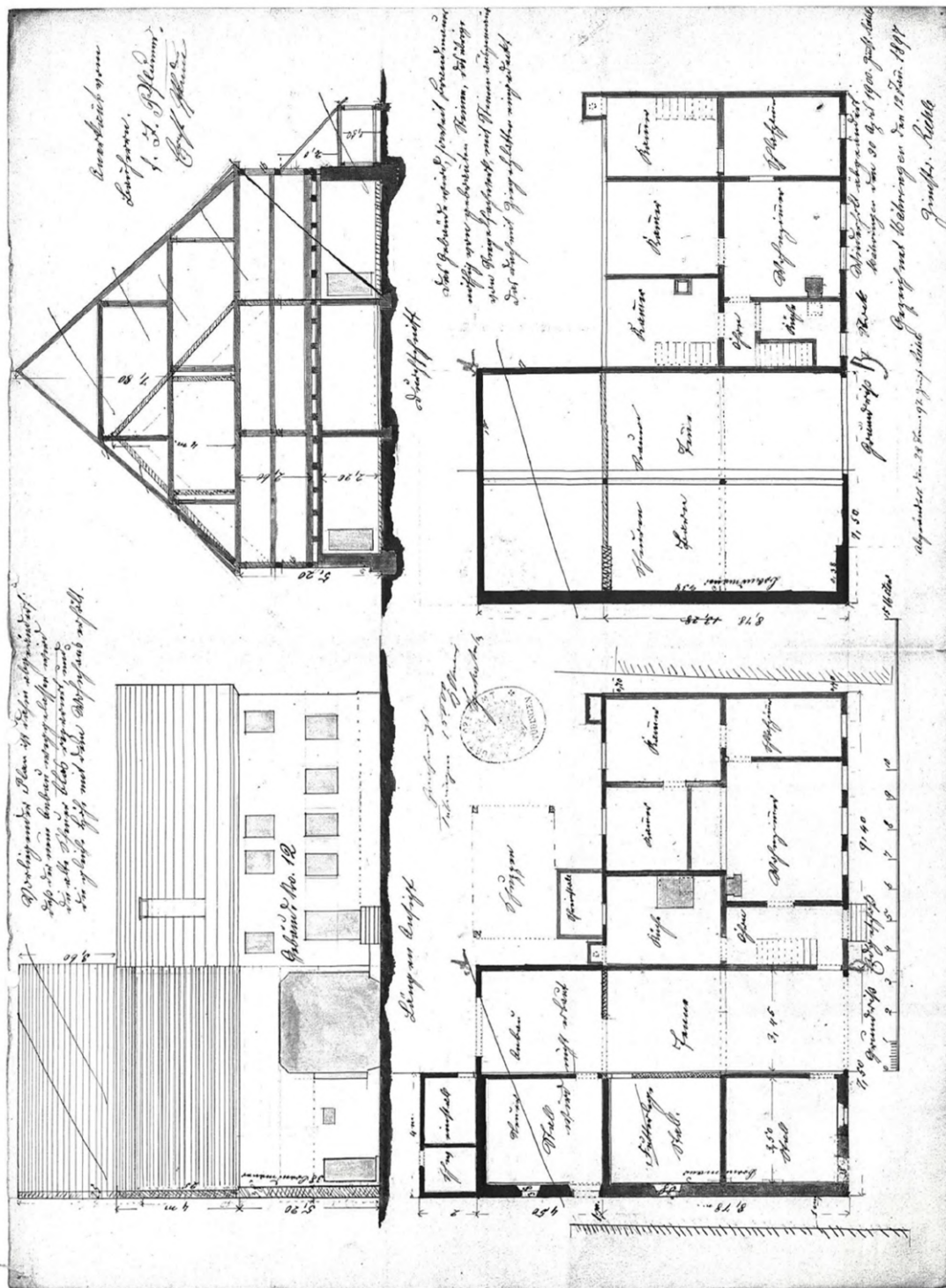
### 4.2 Objektbeschreibung

Das Gebäude wurde 1899 errichtet und ist demnach 123 Jahre alt. Diese Information ist den Baugesuchsplänen zur Errichtung und der Hausinschrift (Hausmarke) am Türsturz der Eingangstüre des Wohnhauses zu entnehmen, die auf Abbildung 4.2 zu sehen ist. Der Bauantrag von 1897, den Abbildung 4.3 zeigt, wurde händisch auf einem DIN-A3-Papierformat gezeichnet und beinhaltet die 2D-Ansicht des Gebäudes mit Blick von der Straße darauf, einen Schnitt und die Grundrisse des Erdgeschosses und des Obergeschosses. Der Plan zeigt das ursprünglich geplante Bauernhaus, das das Realisierte in der Länge übertraf. Ebenfalls war die Scheune zuvor um ein weiteres Geschoss höher geplant, als sie tatsächlich gebaut wurde. Der beauftragte Planer änderte in Absprache mit den Bauherren nachträglich die Breite des Wirtschaftsbereichs auf die des Wohnhauses ab und der bereits damals geplante Anbau wurde durchgestrichen, was die Ungültigkeit schriftlich bestätigte. Dieser war mit Fachwerkwänden überwiegend als Stall vorgesehen. Der Anbau mit Holzlamellenwänden, der aktuell am Objekt vorgefunden werden kann, wurde zu einem späteren, unbekanntem Zeitpunkt errichtet.



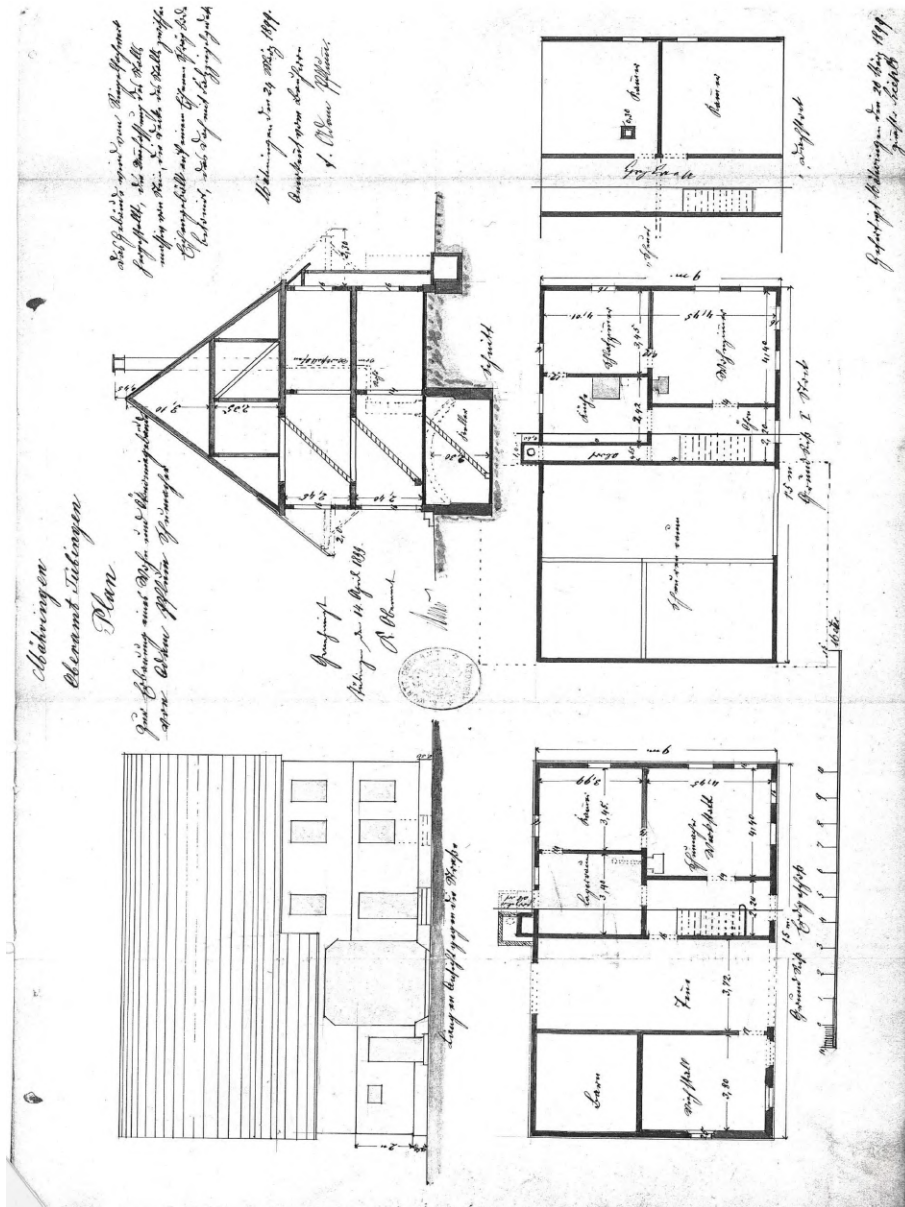
**Abbildung 4.2:** In Stein gemeißelte und mit roter Farbe bemalte Inschrift, die Informationen über das Erbauungsjahr und den Eigentümer preisgibt.

4. GRUNDLAGENERMITTLUNG UND VORPLANUNG



**Abbildung 4.3:** Baugesuch von 1897 mit Unterschrift des Planers (rechts unten), die der Bauherren Pflum (rechts oben) und Stempel sowie Signatur des Oberamtes Tübingen (Mitte) zur Genehmigung des Bauvorhabens. Quelle: Archiv Landratsamt Tübingen.

Im Jahre 1899 wurde ein neuer Bauantrag eingereicht, der vermutlich auf die Verjährung und Ungültigkeit des zuvor beantragten Gesuchs zurückzuführen ist. Dieser zeigt dasselbe Gebäude mit Änderungen, bei denen der Anbau entfallen ist und das Dach durchweg einen gemeinsamen First besitzt [Abb. 4.4]. Dieser Antrag wurde erneut genehmigt, wie die Unterschrift und der Stempel in der Bildmitte bezeugen und das Gebäude wurde dementsprechend ausgeführt.



**Abbildung 4.4:** Baugesuch von 1899 mit Unterschrift des Eigentümers Pflum (rechts oben) und Stempel sowie Signatur des Oberamtes Tübingen (Mitte) zur Genehmigung des Bauvorhabens. Quelle: Archiv Landratsamt Tübingen.

#### 4. GRUNDLAGENERMITTLUNG UND VORPLANUNG

---

Bei dem betreffenden Bauernhaus handelt es sich um ein schwäbisches oder südwest-deutsches Bauernhaus mit einem First (Einfirsthaus). Den traufseitigen<sup>2</sup> Eingangsbereich des Wohnhauses bildet ein Treppenhaus [Abb. 4.7 a], das den Wohnteil [Abb. 4.5 a und c] von dem Wirtschaftsbereich [Abb. 4.5 b und d] trennt [Kre09, S. 2]. Über dieses Treppenhaus lassen sich jedoch alle Teile des Gebäudes erschließen und man gelangt von dort ebenso in die Scheune, als auch in die oberen Stockwerke. Aus der Scheune führt ein weiteres Tor in den angrenzenden, unter anderem als Stall genutzten Anbau [Abb. 4.6].



(a)



(b)



(c)



(d)

**Abbildung 4.5:** **a** Blick auf den Wohnteil aus dem Garten. **b** Scheune und Scheuentor. **c** Blick auf den Wohnteil von der Straße. **d** Straßenseitige Ansicht der Scheune mit angebautem Schuppen (links).

---

<sup>2</sup>Die Traufe bezeichnet die untere Kante am Dach, an der das Regenwasser abtropft. Dieses wird in einer Regenrinne gesammelt.



**Abbildung 4.6:** Das Treppenhaus (rechts) bietet Zugang zur Scheune, von der aus man in den Anbau (links), aber auch in den Wohntrakt gelangt.

Im Erdgeschoss des Wohnteils befanden sich die Küche und weitere Räume, die vermehrt als Lager- oder Hauswirtschaftsräume (HWR) genutzt wurden und in den oberen Geschossen befand sich der eigentliche Wohnbereich<sup>3</sup>. Durch eine Treppe gelangte man in einen Keller. Über ein zentrales Treppenhaus können die oberen Geschosse erreicht werden. Die Bühne wurde als Lagerfläche verwendet. Abbildung 4.7 zeigt dieses Treppenhaus sowie zwei Räume und den Hintereingang über den Garten neben dem Anbau betrachtet.

<sup>3</sup>Bauherr, persönliche Kommunikation, 20. April 2022.

#### 4. GRUNDLAGENERMITTLUNG UND VORPLANUNG

---



(a)



(b)



(c)



(d)

**Abbildung 4.7:** **a** Treppenhaus Obergeschoss. **b** Türe in den Garten. **c** Küche im Erdgeschoss mit Zugang in den Garten. **d** Begonnene Abbrucharbeiten, die das Entfernen des Putzes und der Tapete von den Fachwerkwänden beinhalten.

Auch die Scheune (Tenne) ist traufseitig durch das Scheunentor zugänglich [Abb. 4.5 b]. Diese bot ein Heulager und Lagerfläche für Werkzeug, Geräte und einen abgetrennten Bereich für Vieh [Abb. 4.8 a-d].



**Abbildung 4.8:** **a** Blick vom Heulager in die Scheune. **b** Fachwerk-Außenwand und Balken. **c** Mauerwerk und Balken. **d** Heulager und Fachwerk-Außenwand.

An die Scheune grenzt der Anbau an, der auf zwei Ebenen ausreichend Lagerraum für landwirtschaftliche Gerätschaften bot und im Erdgeschoss einen Schweinestall aufweist. Dabei ist nur ein Teil einer Außenwand aus Fachwerk und aussteifenden Zementziegelsteingefachen aufgebaut, die Übrigen sind aus Holzlamellen gefertigt. Dieser Anbau ist auf Abbildung 4.9 a bis d zu sehen. Das Dach besteht aus einem *Pulldach*, das nur eine geneigte Dachfläche aufweist. Ein Hühnerstall war an das Wohnhaus angebaut und bot den Tieren

Zugang zu einem Auslauf in den Garten.



(a)



(b)



(c)



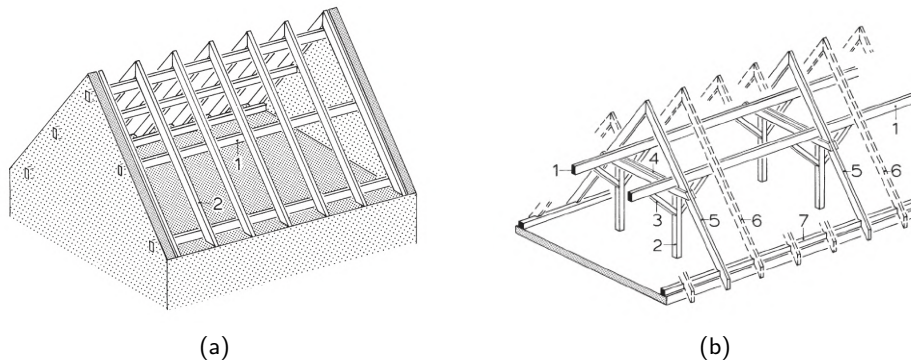
(d)

**Abbildung 4.9:** **a** Außensicht mit Treppe in das Obergeschoss und Fachwerkwand, **b** Erdgeschoss und **c** Obergeschoss des Anbaus mit Lamellenwand. **d** Integrierte Schweinestall links.

Grundsätzlich bestehen die Mauern des gesamten Gebäudes aus Fachwerk und es besitzt ein Satteldach. Das über Jahrhunderte wohl am häufigsten gebaute *Satteldach* besteht aus zwei Dachflächen, die sich gegenüberliegen und am Dachfirst treffen sowie in der Länge von den Giebelwänden abgeschlossen werden [LR18, S. 25]. Neben diesem gibt es weitere Dachformen wie das Zelt- oder Mansardendach, die jedoch nicht Bestandteil dieser Ausarbeitung sind. Das Dachtragewerk des Satteldachs bildet in diesem konkreten Fall das aus Holz gefertigte *Pfettendach*, das auf Abbildung 4.10 zu sehen ist. Durch diese Konstruktion wird das Gewicht des Daches auf die Wände verteilt und somit in Richtung Erdreich zum Fundament geleitet. Zwischen 1870 und 1918 wurden Satteldächer mit Pfettendach mit mindestens einem stehenden Stuhl errichtet [LR18, S. 28]. Dieser Dachstuhl hat senkrecht verlaufende



Pfosten, die entweder die Firstpfette oder bei größeren Dachspannweiten die Mittelpfetten stützen. Zur Veranschaulichung dient Abbildung 4.10 b, die den genauen Dachstuhl des Bauernhauses ohne Firstpfette abbildet. Beim liegenden Stuhl verlaufen diese parallel zu den Sparren und schaffen so eine größere Nutzungsfläche [LR18, S. 33]. Die Dachkonstruktion mit Pfetten entstand in der Antike aus der Balkendecke, ist allerdings schon in der bronzezeitlichen Pfahlbauweise<sup>4</sup> belegt. Da die Gebäude im Laufe der Zeit breiter wurden, reichten die Sparren nicht mehr aus, um die Last ohne Unterstützung zu tragen. Die Pfetten, die diese unterstützen, benötigen jedoch selbst Pfosten und damit einen Dachstuhl [HR18, S. 39]. Neben dem Pfettendach besteht das *Sparrendach*, das parallel zur Giebelwand ein unverrückbares Dreieck aus zwei Holzsparren und einem Deckenbalken/Massivdeckenabschnitt bildet. Dieses Gespärre ist ausgesteift und überträgt die Gesamtlast des Daches auf die Außenwände [HR18, S. 91]. Auf die Dachkonstruktion wurde eine Abdichtung, eine Lattung und Konterlattung angebracht, auf die die Dachhaut (Dachziegel) errichtet wurde.



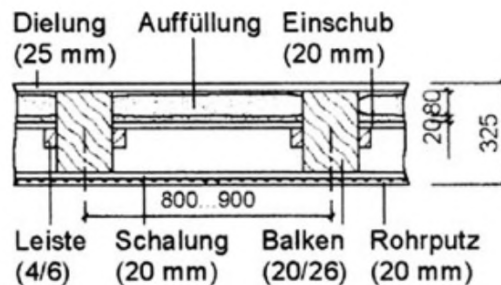
**Abbildung 4.10:** a) Pfettendach mit horizontal verlaufender Firstpfette, Mittelpfetten (1) und je nach Dachneigung schräg verlaufenden Sparren (2). Quelle: [HR18, S. 100]. b) Links und rechts liegen die Mittelpfetten (1) in Geschosshöhe, die durch Pfosten (2) gestützt werden. Quelle: [HR18, S. 100].

Die Decken des Hauses bestehen aus Holzbalken. Diese Holzbalkendecke wurde aus regionalen Materialressourcen angefertigt und diente der Raumabdeckung, dem Brand-, Schall- und Wärmeschutz. Die Balken wurden über die gesamte Breite des Gebäudes im Abstand von 60 bis 90 cm angeordnet. Bei einem Sparrendach entsprach dieser Abstand den Abständen der Sparren, da diese aus statischen Gründen miteinander verknüpft wurden [LR18, S. 48]. Die Balken liegen bei Fachwerkwänden auf den Wandpfetten auf [LR18, S. 57]. Zwischen den Balken kam ein Einschub zum Einsatz, auf den der Raum zwischen den Balken beispielsweise mit Lehm oder Schutt aufgefüllt wurde. Auf diese Auffüllung wurde der sichtbare Fußboden verlegt, der aus Parkett, Dielung, Estrich oder Lehm bestand. Unterhalb der Deckenbalken

<sup>4</sup>mitteleuropäische Bronzezeit zwischen 2200 bis 800 v. Chr.

Pfahlbauten bezeichnen Holzbauten, die sich in oder an Gewässern befinden und deshalb auf Pfählen stehen, um sich insbesondere vor Hochwasser zu schützen. Ein Beispiel hierfür sind die Pfahlbauten von Unteruhldingen am Bodensee.

wurde eine Schalung und darauf ein Putz angebracht [LR18, S. 49]. Einen beispielhaften Fußbodenaufbau einer Balkendecke zeigt Abbildung 4.11.



**Abbildung 4.11:** Aufbau einer Einschubbalkendecke zwischen 1870 und 1918. Quelle: [LR18, S. 54].

### 4.3 Bauvorhaben

Aus technischer Sicht wurde im Rahmen der Genehmigungsplanung für den Bauherrn ein Umbau und eine Modernisierung gemäß HOAI geplant. Der Umbau betrifft Eingriffe in die Statik, während die Modernisierung unter Anderem die Dämmung der Fachwerk-Außenwände vorsieht. Baurechtlich gesehen handelt es sich allerdings um eine Nutzungsänderung, die eine Genehmigung vorschreibt und im Zuge derer ein Umbau und eine Modernisierung folgen<sup>5</sup>. Der Scheune wird ihre ursprüngliche Funktion als Wirtschaftsbereich entzogen und sie wird im Erdgeschoss in den Eingangsbereich des Hauses umgewandelt. Im Obergeschoss wird sie an Stelle des Luftraumes, in dem Heu und Getreide gelagert wurde, in Wohnraum für den Bauherrn abgeändert. Der Anbau wird ebenfalls als Wohnraum nutzbar gemacht. An Stelle der Holzlamellen-Wände werden richtige Wände errichtet, in die geschosshohe Verglasungen eingesetzt werden, um einen maximalen Lichteinfall zu generieren. Innerhalb des Anbaus wird der Zwischenboden entfernt und der Raum wird sich in der Höhe bis unter die Decke erstrecken. Neben einem Gäste-WC und einem Hauswirtschaftsraum, der eingeschlossen wird, handelt es sich im vorderen verglasten Bereich um einen Koch- und Essbereich, von dem man aus auf eine weitläufige Terrasse in den Garten gelangt. Dieser Teil des Hauses ist nur dem Bauherrn zugänglich, der über eine Treppe aus dem Anbau in das Obergeschoss gelangt, das nur ihm zur Verfügung steht. Der Anbau kann von dem Obergeschoss der Scheune aus als eine Art Empore von oben herab betrachtet werden und bietet daher zusätzlichen Lichteinfall in den oberen Bereich der ehemaligen, finsternen Scheune. In der rechten Haushälfte befindet sich in dem Erdgeschoss eine zweite Wohneinheit, die ebenfalls über den Eingangsbereich (Scheune) zugänglich wird. In den Räumlichkeiten des Wohnhauses, bei denen die Nutzung beispielsweise von der Funktion als Küche auf die eines Bades geändert werden soll, müssen selbstverständlich Umbaumaßnahmen vorgenommen werden, die als nennenswertes Beispiel die Wasser- und Abwasserleitungen betreffen. Außerdem erhalten die Außenwände

<sup>5</sup>W. Bühler, persönliche Kommunikation, 23.05.2022.

des Wohnhauses und ein Teil des Anbaus eine Wärmedämmung, die außen auf die bestehenden Fachwerkwände aufgetragen wird. Neben neuen, großflächigen Fenstern werden die bereits existierenden Wandöffnungen größtenteils verwendet und erweitert. Als Blickfänger des Hauses werden die Gefache der Scheunen-Außenwand geleert, um das Holzfachwerk von der Straße aus sichtbar zu machen. Hinter dieses wird eine über die Scheunenbreite verlaufende Verglasung konstruiert, die das Fachwerk ebenso von innen sichtbar bleiben lässt. Modernisiert werden überwiegend in die Jahre gekommene Balken und Pfosten, die statisch von Wert sind. Diese werden aufbereitet und im Falle des Obergeschosses der Scheune durch Stahlträger ersetzt. Neben diesen werden neue Leitungen gelegt und eine Fußbodenheizung verlegt.

Das 3D-CAD-Modell wird für die Erzeugung des Plansatzes für den Baugesuchsantrag benötigt und für Visualisierungen für Präsentationszwecke, die dem Bauherrn, Planungsmitgliedern und dem zuständigen Bauamt die Änderungsmaßnahmen veranschaulichen. Ebenfalls sollten Änderungen schnell in allen Ansichten und Schnitten aktualisiert werden und nicht manuell einzeln bearbeitet werden.

## 4.4 Die Bestandserfassung

*Im Kern einer digitalen 3D-Rekonstruktion historischer Architektur steht die Erstellung einer Datenstruktur im Computer, die das abstrakte Modell einer Bearbeitung und Darstellung zugänglich macht. Die visuellen Aspekte dieser Daten - Geometrie und Aussehen, d.h. Oberflächen- und Materialeigenschaften - sind Gegenstand der Computergraphik. [Ste17, S. 1]*

Der erste Schritt in Richtung eines vollständigen Architektur-3D-Modells, aus dem die benötigten Bauantragsunterlagen abgeleitet werden können, bildet die Bestandserfassung. Dieser Bestand wird in einem Modell abgebildet, um den vorliegenden Ist-Zustand zu repräsentieren und in einem nachfolgenden Schritt die neu auszuführenden Änderungen visuell aufzuzeigen. Ebenfalls kann dies von Beginn an BIM-konform ausgearbeitet werden, um mit dieser Methode weiterzuarbeiten<sup>6</sup>. Um einen vorliegenden Bestand zu erfassen, bestehen verschiedene Möglichkeiten.

Generell wird durch ein Aufmaß der Grundstein gelegt und durch moderne Lasertechniken können Bestände von Gebäuden erfasst und direkt in ein 3D-Bestandsmodell übertragen werden<sup>7</sup>. Allerdings ist diese automatisierte Modellerzeugung durch die vorausgesetzte Technik kostenintensiv und wird bei kleinen Projekten kaum angewendet. Für das Vorgehen der CAD-Modellgenerierung des Bauernhauses wurde auf ein manuelles Aufmaß zurückgegriffen, das durch den Lasereinsatz ergänzt wurde. Durch das Bauaufmaß wird ein maßliches Abbild generiert, das in seinem Aussehen, seinem Detailgrad und seiner Dimensionalität variieren kann [Thu04, S. 23].

<sup>6</sup> <https://blog.allplan.com/de/wechsel-von-2d-cad-zu-3d-und-bim-fuer-architekten>. Abgerufen am 30.06.2022.

<sup>7</sup> vgl. Kapitel 3

### 4.4.1 Ortsbesichtigung und Aufmaß

Die erste Leistungsphase sieht eine **Ortsbesichtigung** vor, durch die der Planer einen ersten Eindruck des Gebäudes erhält. Derartige Begehungen sind wichtig für weitere Entscheidungen, die die Planung betreffen, aber auch von Bedeutung, um die Aufgabenstellung mit dem Bauherrn zu definieren. Dabei kann der Planer über das weitere Vorgehen und die Realisierbarkeit der Vorstellungen des Bauherrn aufklären und diese ebenfalls mit weiteren möglichen Beteiligten abklären<sup>8</sup>. Natürlich wird das Bauobjekt regelmäßig besucht und nicht nur zu Beginn der Planung. Während des Entwurfs- und Planungsverlaufs können Unklarheiten und Unstimmigkeiten auftreten, die am besten vor Ort geklärt werden können.

Da für dieses Bauvorhaben keine 3D-Daten verfügbar waren, sondern nur die handgefertigten 2D-Zeichnungen von 1899, die durchaus ein hohes Maß an Ungenauigkeit beinhalteten, war es unabdingbar, die bestehenden Maßlichkeiten zu eruieren. Das sogenannte **Aufmaß** befasst sich mit der Abmessung des Bestands eines Gebäudes. Um diese Maße festzuhalten, bieten sich Skizzen oder bereits vorhandene Pläne an, in die die abgenommenen Maßlichkeiten eingetragen werden. Anzumerken sei hier, dass zwischen dem letzten Stand der Pläne und dem vorliegenden Bestand Unterschiede bestehen können, die zu berücksichtigen sind. Solche Unterschiede können durch Umbaumaßnahmen und nicht genehmigte Bauvorhaben entstehen. Als Hilfsmittel zur Entfernungsmessung dient dabei ein Laserdistanzmesser, der das Vermessen von großen Abständen unterstützt und der klassische Gliedermaßstab (Meterstab). Neben diesen können weitere Hilfsmittel wie die Wasserwaage hinzugezogen werden. Für diese manuelle Aufmaßtechnik wird lediglich eine Person benötigt [Thu04, S. 24]. Vermaßt werden Raumhöhen, wenn möglich Wand- und Deckenstärken, Länge und Breite der Räume, Türmaße inklusive Öffnungshöhen und Fenstermaße mit der dazugehörigen Brüstungshöhe. Generell wird die Diagonale eines Raumes als Kontrollmaß genommen, sodass mögliche Verzerrungen durch nicht-orthogonale Wandverläufe berücksichtigt werden können<sup>9</sup>. Zusammen mit den ehemaligen Plänen bildet das klassische Aufmaß das Fundament für ein korrektes 3D-CAD-Bestandsmodell eines Bauwerks. Durch digitale Erfassungsmethoden kann dieses Vorgehen ersetzt werden oder Wandöffnungen werden nachträglich manuell aufgemessen.

### 4.4.2 Theoretisches Vorgehen zur Erzeugung eines 3D-CAD-Modells

Wenn kein digitales Gebäudebestandsmodell durch vorab beschriebene Verfahren erzeugt wurde, muss dieses von Grund auf neu in der CAD-Software modelliert werden. Bei kleinen Projekten, die Ein- oder Zweifamilienhäuser oder Wohnungen betreffen, kann dies problemlos umgesetzt werden. Bei größeren Gebäuden sollte auf eine digitale Bestandserfassung zurückgegriffen werden, da diese eine deutliche Zeitersparnis verschafft, wie bereits aufgezeigt wurde. Dieses generierte Abbild in Form eines 3D-Bestandmodells bietet die Grundlage für die weitere Arbeit des Planers, aber auch für die Arbeit mit BIM. Selbst für Bauwerke, für die aktuell kein Bauvorhaben geplant ist, können digital erfasst werden und zu einem späteren Zeitpunkt einfach bearbeitet werden. Aus diesem Bestandsmodell kann in der

---

<sup>8</sup>vgl. Kapitel 2.2.3

<sup>9</sup>W. Bühler, persönliche Kommunikation, 14.06.2022.

CAD-Software ein vollständiges Bauwerksmodell erzeugt werden, das ein Gebäude mit seinen architektonischen Elementen der Konstruktion und weiteren Informationen umfassend beschreibt [HMBKK20, S. 41].

Für das anschließend erläuterte, theoretische Vorgehen des Workflows von 2D-Unterlagen zu einem Architektur-3D-Modell gibt es keine konkrete Richtlinie, an die es sich zu halten gilt. Folgende Schritte haben sich in der Praxis als sinnvoll erwiesen und werden teilweise von dem Hersteller von Vectorworks in einem Tutorial<sup>10</sup> empfohlen:

- (0. Aufmaß vor Ort)
1. Einrichten des Projekts
2. Ebenen und Geschosse
3. Import der 2D-Pläne (wenn vorhanden)
5. Wände
6. Wandöffnungen
7. Decken und Böden
8. Treppen
9. Bedachung
10. Möblierung und Sanitär
11. Raumstempel
12. Bemaßung
13. Layoutebenen und Planableitungen

Nach der grundlegenden Einrichtung des Projekts, die Einstellungen bezüglich der Datensicherung und Plangröße (Größe der Konstruktionsebene) beinhaltet, werden direkt zu Beginn Geschosse definiert. Diese können allerdings auch in einem späteren Stadium des Modellfortschritts bearbeitet werden und lassen zu jeder Zeit Änderungen zu, die das Modell automatisch aktualisieren. Pro Geschoss wird eine Konstruktionsebene erstellt und mit diesem verknüpft. Für diese Geschosse werden Referenzhöhenvergaben festgelegt, die als wichtigste Parameter gelten. Wichtige Referenzhöhen sind insbesondere die Unterkante der Fertigdecke (UKFD), die die Zimmerdecke bezeichnet, und die Oberkante des Fertigfußbodens (OKFB), dementsprechend die Ebenenbasis des darüberliegenden Geschosses. Durch diese beiden Parameter wird die Dicke der Decke definiert, denn diese befindet sich zwischen beiden Punkten. Bestehende Pläne, die den Bestand abbilden, können in die Software importiert werden und unterstützen die korrekte Erzeugung der Wände. Wichtig ist dabei, dass der Plan auf Maßstabsgenauigkeit kontrolliert wird und keine Interferenzen zum definierten Maßstab aufweist, die durch den Import der Datei oder den Scanvorgang entstehen können. Diese beiden Schritte entfallen, wenn das Modell und die daraus zu generierenden Pläne für die Erbauung eines Neubaus dienen. Die Wände des Modells können über die auf dem Bestandsplan abgebildeten modelliert werden und mit Hilfe eines Mausklicks an die vorab definierten Geschosshöhen angepasst werden. Nachfolgend werden Wandöffnungen wie Fenster und Türen eingesetzt. Dabei hilft erneut der Bestandsplan und bietet ein gewisses Maß an Orientierung. Um die Geschosse voneinander zu trennen und die Räume abzudecken, werden

---

<sup>10</sup>[https://cw-downloads.eu/vectorworkstutorials/vw2019/tutorial\\_architektur.pdf](https://cw-downloads.eu/vectorworkstutorials/vw2019/tutorial_architektur.pdf). Abgerufen am 30.06.2022.

Decken erzeugt, deren Ober- und Unterkante ebenfalls an den Referenzhöhen ausgerichtet werden können. Ebenso werden Treppen eingefügt, für welche die Geschosshöhe auch aus den Referenzhöhen automatisch entnommen werden kann. Damit das Gebäude geschlossen und seine Form vollendet wird, wird ein Dach erzeugt. Gerade für dieses sind Ansichten und ein Schnitt des Bestands von Vorteil, da beispielsweise die Dachneigung grob ermittelt werden kann. Alle Maße müssen nach dem Aufmaß kontrolliert und angepasst werden, wenn dieses nicht im Vorfeld stattgefunden hat. Der Schritt der Möblierung bleibt optional, kann jedoch gefordert und zur besseren Anschaulichkeit von Vorteil sein. Die Sanitäreinrichtungen wiederum werden zwangsläufig ergänzt, da für den Ausführungsplan Position und Verlauf der Leitungen geplant werden müssen, wenn nicht vorhandene genutzt und modernisiert werden. In Schritt elf werden alle Räume mit einem Raumstempel versehen. Diesem können beliebige Attribute hinzugefügt werden, so dass dieser als 2D-Stempel Informationen über dessen Fläche, Raumhöhe, Volumen und sogar Wandbeläge sowie Wandöffnungsflächen innerhalb des Modells preisgibt. Diese Daten fragt der intelligente Stempel aus der Datenbank ab. Darüber hinaus wird das gesamte Gebäude mit seinen Räumlichkeiten vermaßt. Dabei ist es wichtig, dass der Ist-Zustand des Bestands abgebildet wird (Kontrolle durch Aufmaß) und nicht der handgezeichnete Bestandsplan. Die Maßketten vermaßen nicht nur die Gebäudeaußenmaße in Länge und Breite, sondern auch die Räume und ihre Wandstärken. Sind diese Schritte vollständig abgearbeitet, können Layoutebenen erzeugt werden, auf denen Grundrisse, Ansichten, Schnitte und gegebenenfalls Isometrien in Ansichtsbereichen abgebildet werden können. Innerhalb dieser Ansichtsbereiche können Ergänzungen in Text- oder Geometrieform ergänzt werden, die nicht zwangsweise innerhalb des Modells angebracht oder in 3D modelliert werden müssen und es handelt sich bei diesen um Modellinstanzen. Aus diesen Layoutebenen wird der Plansatz zusammengestellt und in Papierform auf DIN-A3 gedruckt und bei der zuständigen Behörde zur Genehmigungsprüfung eingereicht.

## Kapitel 5

# Entwurf und Genehmigungsplanung

Dieses Kapitel setzt sich mit dem Workflow der Erzeugung eines 3D-CAD-Modells aus 2D-Unterlagen in Vectorworks 2022 auseinander. Diesem entgegen steht die Erzeugung eines 3D-Modells aus einem Laserscan oder mit Hilfe der Photogrammetrie, die allerdings nicht Teil der Arbeit ist. Die einzelnen Schritte werden im Detail erklärt und münden in der Erzeugung des Plansatzes für das Baugenehmigungsgesuch bei dem lokalen Bauamt. Wie bereits in dem vorherigen Kapitel betont, handelt es sich bei dem Modell zunächst um eine Bestandsmodell, das um neue Elemente und solche, die abgerissen werden, ergänzt wird. Jegliche Abbildungen wurden durch Screenshots während des Workflows in Vectorworks 2022 aufgenommen und werden aus diesem Grund nicht mit einem zusätzlichen Quellenverweis gekennzeichnet.

### 5.1 Workflow in Vectorworks

Gemäß der HOAI sieht die dritte Leistungsphase die Entwurfsplanung vor. Aufbauend auf einem in der Vorplanung erstellten Konzept und den bestehenden Strukturen wird der Entwurf erstellt. Steht dieser in Rücksprache mit dem Bauherrn fest, kann er in der Software modelliert werden. Mit dem Bestandsmodell kann bereits ab der ersten Leistungsphase begonnen werden und durch ein- und ausblendbare Elemente können hinzu- oder wegfallende Konstruktionen in dem späteren Verlauf ergänzt werden.

Zu Beginn der Arbeit mit Vectorworks wurde ein neues Dokument als Kopie einer Vorgabendatei erstellt, die bereits voreingestellte Geschosse und Konstruktionsebenen beinhaltet. Somit muss nicht von Grund auf neu begonnen, sondern die vorhandenen Strukturen müssen lediglich auf das aktuelle Projekt angepasst werden. Zudem wurde die Plangröße auf DIN-A3 geändert und der Maßstab auf 1:100 eingestellt, da dieser für die Entwurfsplanung typisch ist<sup>1</sup>. Nach diesen grundlegenden Einstellungen wurde mit der Arbeit an dem eigentlichen Modell begonnen.

---

<sup>1</sup>vgl. Abschnitt 2.2.3

### 5.1.1 Ebenen und Geschosse

Für die Umsetzung des theoretisch begründeten Workflows wurde *Vectorworks 2022 Architektur* verwendet. Neben den in allen Versionen verfügbaren Konstruktionswerkzeugen<sup>2</sup> gibt es Werkzeuggruppen, die sich in *Bemaßung/Beschriftung, Architektur, Innenarchitektur, Landschaft, Spotlight, Modellieren, Visualisieren und Objekte/Normteile* [Abb. 5.1] gliedern.

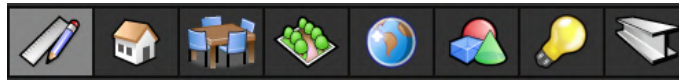


Abbildung 5.1: Werkzeuggruppen in Vectorworks 2022.

Für die Erstellung und Bearbeitung des Architektur-3D-Modells wurden überwiegend die Konstruktionswerkzeuge und die Werkzeuggruppe *Architektur* verwendet. Diese bietet eine Vielzahl an explizit in der Bauwerksplanung verwendeten Werkzeuge wie dem *Wand-, Fenster-, Türen-, Decken-, Boden-, Raum- Stützen-/Träger- und Dach-Tool* an, mit denen die virtuelle Konstruktion erheblich vereinfacht wird.

Grundsätzlich arbeitet Vectorworks mit *Ebenen*, die hierarchisch und physisch strukturiert sind. Als Basis dient die *Konstruktionsebene*. Jede dieser Ebenen besitzt eine Zeichenfläche, in der gearbeitet wird und der Nutzer kann diese in beliebiger Anzahl erstellen. Diese Ebenen werden mit *Geschossen* verbunden, die zuvor erzeugt wurden. Die 3D-Geschosse richten sich nach der Anzahl der im Gebäude vorhandenen oder geplanten Geschosse und werden dementsprechend angelegt. Ein Projekt kann dadurch sauber gegliedert werden und ein möglicher IFC-Datenaustausch im Rahmen des BIM wird reibungslos gewährleistet<sup>3</sup>.

Für das exemplarische Bauernhaus wurden fünf Konstruktionsebenen angelegt, wobei vier den Geschossen des Gebäudes (Erdgeschoss, Obergeschoss, Dachgeschoss und Bühne) gleichen [Abb. 5.2]. Die Konstruktionsebene *Lageplan* dient als Einfügepunkt des Lageplans des Grundstücks, das von dem Vermesser zugeschickt wurde. Da es sich bei diesem um einen 2D-Plan handelt, der ebenfalls in Vectorworks erstellt wurde, benötigt diese Ebene keine Höhe und wird deshalb nicht mit einem Geschoss verknüpft. Dieser Plan findet in dem späteren Verlauf seine Verwendung.

Den Ebenen entsprechend wurden vier 3D-Geschosse angelegt und mit der jeweiligen Konstruktionsebene verbunden. Dies geschieht in einem Kontextmenü der zu bearbeitenden Ebene [Abb. 5.3]. Jeder Konstruktionsebene wird eine Ebenenbasishöhe zugeteilt, die ausgehend vom Vectorworks-Nullpunkt aus den *Referenzhöhenvergaben* berechnet wird. Diese wiederum werden für jedes Geschoss angelegt. Selbstverständlich können diese nach Anlegen in mehreren Geschossen verwendet werden. Anhand des abgebildeten Beispiels auf Abbildung 5.4 ist ersichtlich, dass für das Erdgeschoss drei Referenzen angegeben wurden, zudem zeigt diese eine Übersicht der erstellten 3D-Geschosse. Die Referenzen sind zum einen die Oberkante des Fertigbodens (OKFB), die der Ebenenbasishöhe mit 0 Metern gleichzusetzen ist, die Unterkante der Fertigdecke (UKFD) mit 2,84 Metern sowie der Oberkante der

<sup>2</sup>geometrische Formen, Pipette, Schneiden, Text etc.

<sup>3</sup><https://cvmag.computerworks.de/ausgaben/ausgabe-01-2016/geschosse-und-referenzhoehen.html>.  
Abgerufen am 30.06.2022



Fertigdecke (OKFD) mit 3,04 Metern. Aus der Differenz zwischen OKFD und UKFD ergibt sich ein Abstand von 0,2 Metern, der die Dicke der Decke beschreibt. Genau genommen muss zwischen der Fertigdecke und -boden und dem Rohfußboden unterschieden werden. Das rohe Maß bezeichnet den konstruktiven Aufbau der Decke oder des Bodens und das Fertigmaß das Rohe inklusive der Bekleidung. Allerdings werden diese Informationen erst im Zuge der Ausführungsplanung und den dementsprechenden Werkplänen konkretisiert, sodass während der Entwurfsplanung noch nicht zwangsläufig geplant sein muss, wie die Decke, Wände und andere Objekte explizit aufgebaut sind. Viel mehr geht es darum, darzustellen, welche Änderungen an welcher Stelle vorgenommen werden, denn die Details sind für das Bauamt nicht relevant. Die Referenzen finden bei den intelligenten Objekten wie Fenstern, Türen, Wänden und Decken ihre weitere Anwendung und werden im weiterführenden Text näher erläutert. Innherhalb des Kontextmenüs eines Geschosses können die aktivierten Referenzhöhenvergaben deaktiviert oder bearbeitet werden, falls sich Änderungen in den Höhen ergeben [Abb. 5.5].

| Status | Konstruktionsebene | # | Maßstab | Geschoss     | Referenzhöhentyp | Ebenenbasishöhe (z) |
|--------|--------------------|---|---------|--------------|------------------|---------------------|
| 👁      | Bühne              | 1 | 1:100   | Bühne        |                  | 8,05m               |
| 👁      | DG                 | 2 | 1:100   | Dachgeschoss |                  | 5,58m               |
| 👁      | OG                 | 3 | 1:100   | Obergeschoss |                  | 3,04m               |
| ✕      | Lageplan           | 4 | 1:100   |              |                  | 0m                  |
| 👁      | EG                 | 5 | 1:100   | Erdgeschoss  |                  | 0m                  |

Abbildung 5.2: Übersicht der Konstruktionsebenen mit den relevanten Informationen.

**Konstruktionsebene bearbeiten**

Name:  Beschreibung...

Maßstab:  Maßstab...

Reihenfolge:

Geschoss:

Referenzhöhe:

Ebenenbasishöhe (z):  in Bezug auf die Geschossbasishöhe  
 in Bezug auf den Vectorworks-Nullpunkt

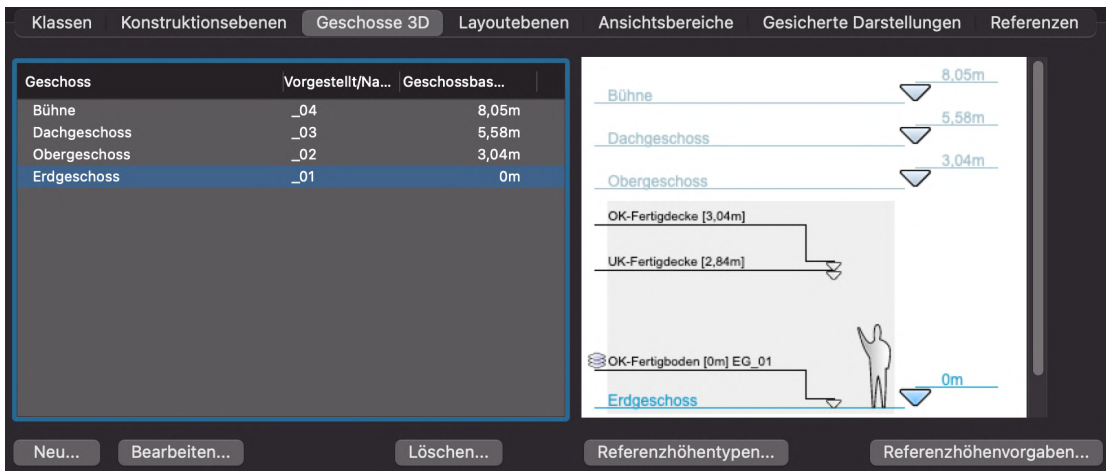
Ebenenwandhöhe (Δz):

Höhe Schnittebene bezogen auf Ebenenbasishöhe:

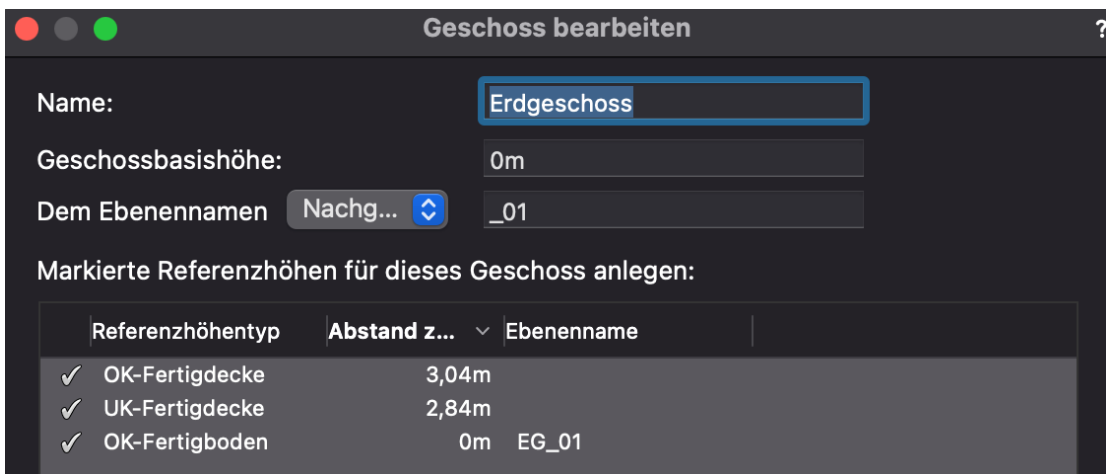
Deckkraft:  100 %

Abbildung 5.3: Kontextmenü der Konstruktionsebene OG mit verbundenem 3D-Geschoss OG.

## 5. ENTWURF UND GENEHMIGUNGSPLANUNG



**Abbildung 5.4:** Übersicht der 3D-Geschosse und Ansicht der einzelnen Geschosse mit angezeigten Referenzhöhenveraben (rechts).



**Abbildung 5.5:** Menü eines Geschosses mit relevanter Geschossbasishöhe sowie den für dieses aktivierte Referenzhöhen.

### 5.1.2 Klassen

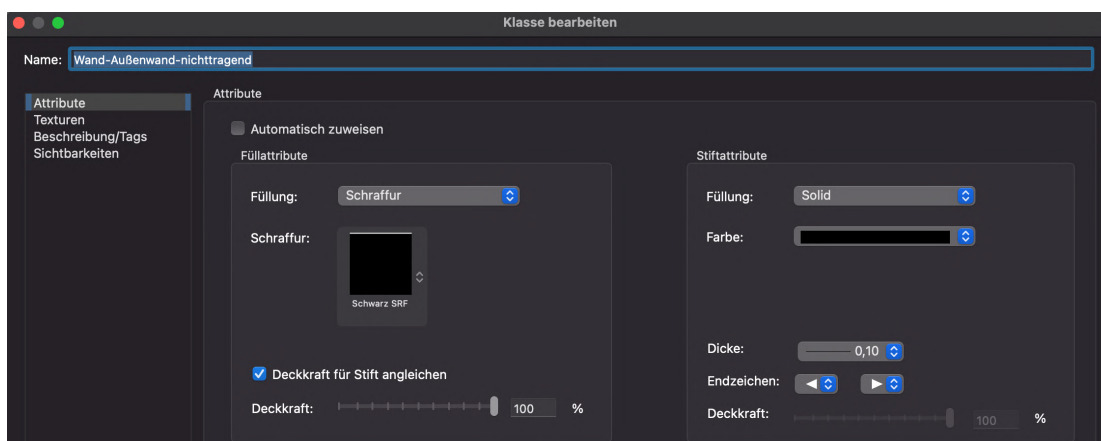
In Vectorworks werden Objekte *Klassen* zugewiesen, damit eine übersichtliche Struktur besteht, die das Ein- und Ausblenden sowie das Bearbeiten aller dazugehörigen Objekte ermöglicht. Die Sichtbarkeit der Klassen wird in der Navigation<sup>4</sup> oder in der Organisation verändert, da beide eine Übersicht über alle Klassen, Ebenen und Ansichtsbereiche bieten. Außerdem werden in der Organisation die Klasseneigenschaften eingestellt. Diese beziehen

<sup>4</sup>Die Navigation ist innerhalb der Arbeitsumgebung außerhalb der Zeichenfläche frei anzuordnen und ermöglicht das Ein- und Ausblenden, sowie das Ausgrauen einer oder mehrerer Klassen oder Ebenen in Echtzeit.

sich insbesondere auf die Darstellung der Füllung und der Linien, für die eine Vielzahl an Möglichkeiten (solid, schraffiert, gemustert, Linienart) zur Verfügung stehen [Abb. 5.7]. Für die abgebildete Wand wurde eine schwarze Füllung gewählt, da bei der Entwurfsplanung alle geschnittenen Elemente schwarz dargestellt werden, insofern sie zu dem Bestand zählen. Durch Zuweisung der Klassenattribute durch einen Mausklick werden alle nicht-tragenden Außenwände in dem Grundriss schwarz gefärbt, sodass nicht jede einzeln bearbeitet werden muss. Die Abbildung 5.6 zeigt die Klasse Wand mit ihren untergeordneten Klassen Außenwand und Innenwand, die jeweils wieder in tragend und nicht-tragend unterschieden werden. Durch diese Strukturierung wird das Modell möglichst genau beschrieben und Elemente können beliebig ein- und ausgeblendet werden, ebenso wie ganze Konstruktionsebenen.



**Abbildung 5.6:** Ausschnitt der Klassenübersicht, der die hierarchische Struktur der Wände zeigt.



**Abbildung 5.7:** Die Klassendarstellung der Attribute kann in diesem Kontextmenü bearbeitet werden.

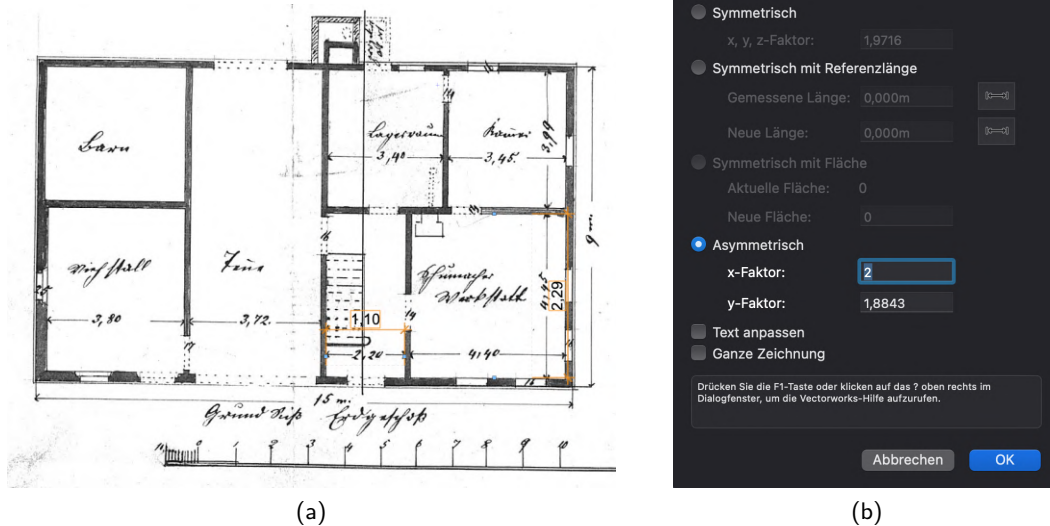
### 5.1.3 Import der Bestandspläne

Nachdem die Grundeinstellungen vorgenommen wurden, wird der Bestandsplan importiert und in die Zeichenebene eingefügt [Abb. 5.8]. Vectorworks unterstützt diverse Datei-Formate (OBJ, DWG, DXF, etc.), unter welche auch PDF-Dateien fallen. Zu beachten ist bei dem Importieren einer Datei, dass diese nicht dem vordefinierten Maßstab des Projekts entsprechen muss, da insbesondere durch den Scanvorgang Differenzen entstehen können. Dieser muss zwingend überprüft werden. Dafür eignet sich das Anlegen einer virtuellen Maßkette oder einer Linie, um die Maßlichkeiten zu überprüfen [Abb. 5.9 a]. Besteht ein Unterschied, wird dieser durch die Skalierung der PDF ausgelöscht. Durch Division des tatsächlichen Maßes und des Soll-Maßes (Bestandsplan) erhält man den Skalierungsfaktor, der angewendet werden muss [Abb. 5.9 b]. Dabei sollten mehrere Längen- und Breitenmaße überprüft werden, um den exakten Faktor der x- und y-Achse zu identifizieren. Gerade wenn Pläne vorab an den Planer digital zugestellt wurden, kann bereits mit der Übertragung auf ein 3D-Modell begonnen werden, ohne ein Aufmaß durchgeführt zu haben. Die erzeugten Strukturen können im Nachhinein auf die abgenommenen Maße angepasst werden. Nach der Skalierung wird der Maßstab erneut überprüft und nach dessen Validierung das weitere Vorgehen fortgesetzt. Durch Verringern der variablen Deckkraft von Objekten, kann der Bestandsplan ausgegraut werden und es kann mit dem Ziehen der Wände begonnen werden, um die Räume und das Gebäude zu formen.

Der Import des Lageplans erfolgte über das DWG-Format, sodass die erstellte Klassenstruktur des Vermessers in das Projekt integriert wurde. Da diese Datei Vectorworks-intern angefertigt wurde, war der Maßstab identisch und musste nicht angepasst werden.



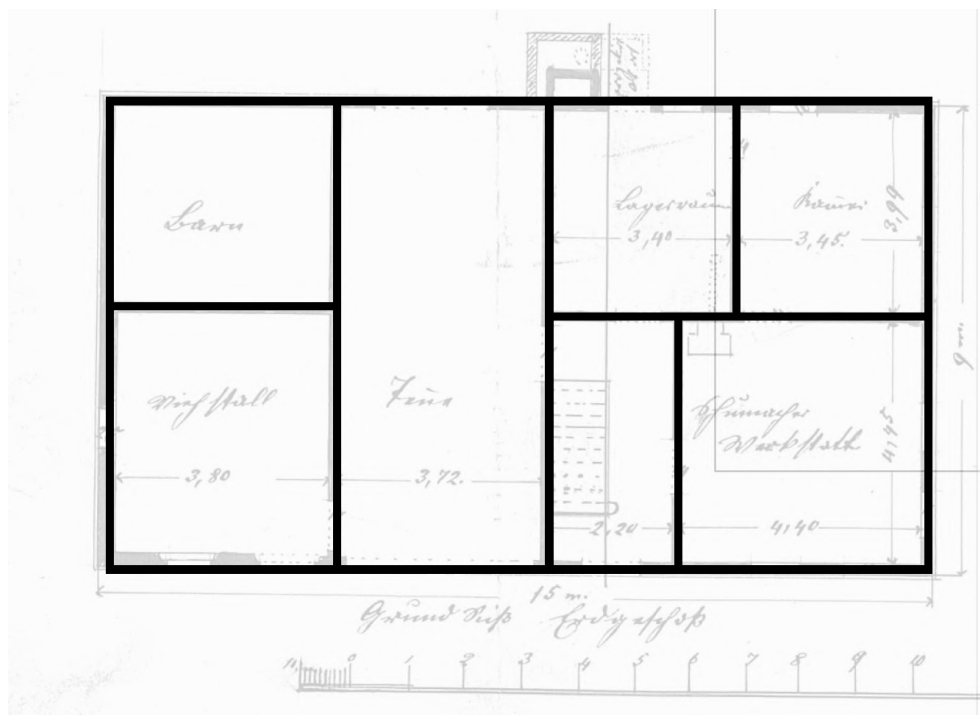
**Abbildung 5.8:** Importierter Bestandsplan des Erdgeschosses in Vectorworks. Quelle: Archiv Landratsamt Tübingen.



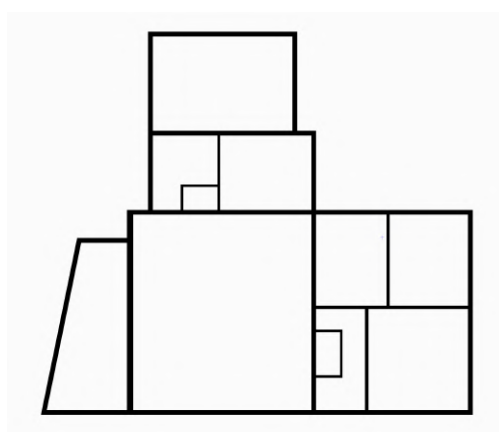
**Abbildung 5.9:** a Screenshot des importierten Plans von 1899 mit zwei angelegten Maßketten, um die Maßlichkeiten zu überprüfen. b Objekt-Skalierung der PDF-Pläne, um diese an den eingestellten Maßstab 1:100 anzupassen. Quelle: Archiv Landratsamt Tübingen.

#### 5.1.4 Wände

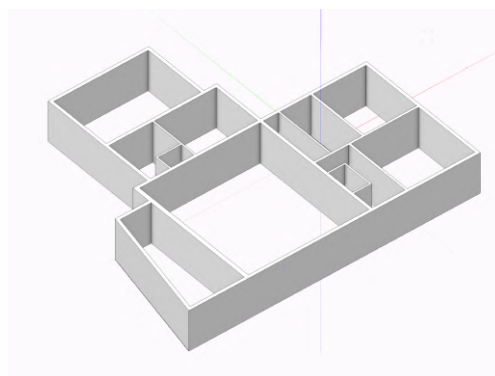
Die CAD-Software Vectorworks bietet innerhalb der Architektur-Version ein *Wand*-Tool an, mit dem Wände frei oder als Rechteck gezeichnet werden können. Mit Hilfe von diesem wurden die Wände erstmals nach Vorlage des Bestandsplans angelegt und nach dem ersten Aufmaß überarbeitet. Die Abbildung 5.10 zeigt den nachgezeichneten Grundriss des EG, der im Hintergrund ausgegraut zu sehen ist. Nachdem bei diesen zwischen zwei Stärken (Innen- und Außenwand) unterschieden wurde [Abb. 5.11 a], wurde diesen als Oberkante die Referenz UKFD (2,84 Meter) zugewiesen [Abb. 5.12]. Aus dieser ergibt sich die Wandhöhe, an die sich alle Wände automatisch anpassen, wenn sie vorab aktiviert waren, wie Abbildung 5.11 b in einer Projektion zeigt. Die Aktivierung mehrerer Elemente ist über den Zauberstab der Konstruktionswerkzeuge schnell umgesetzt, da bei diesem als Filter beispielsweise die Klasse verwendet werden kann. Bei Auswahl eines Elements werden alle weiteren mit derselben Klassenzuordnung aktiviert.



**Abbildung 5.10:** Mit dem Wand-Tool gezeichnete Wände. Quelle: Archiv Landratsamt Tübingen.

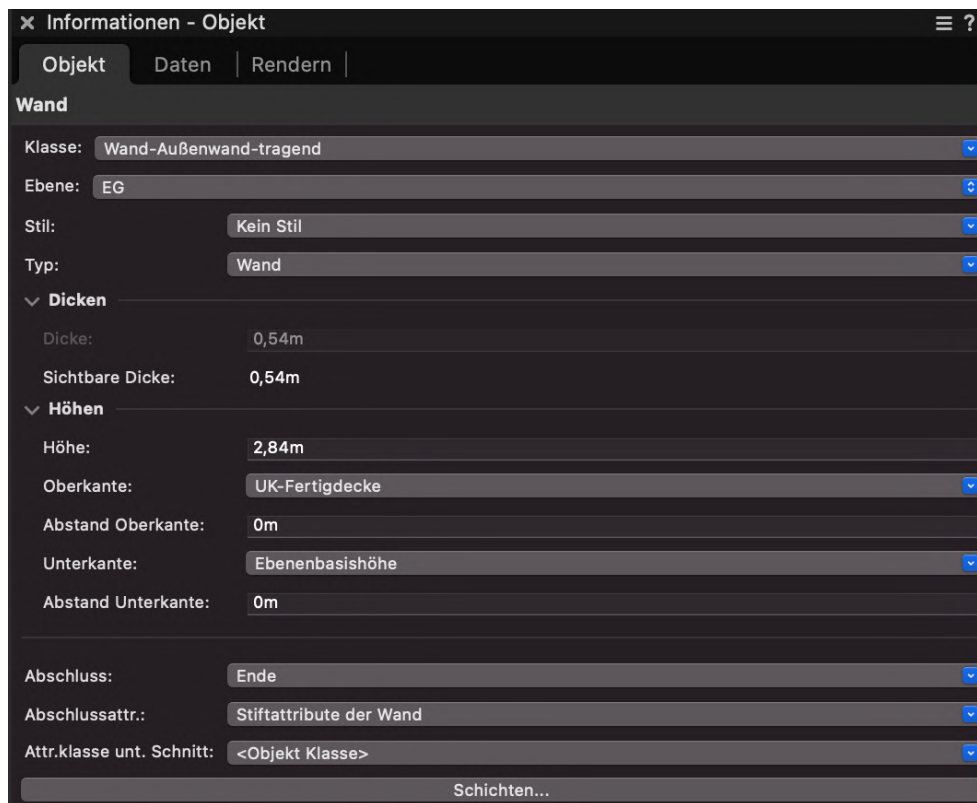


(a)



(b)

**Abbildung 5.11:** **a** Grundriß der erzeugten Wände. **b** Projektion (links vorne oben) der Wände als Volumenmodell. Die Höhe ist an der Referenz der UKFD ausgerichtet.



**Abbildung 5.12:** Informationsbox der Wand mit allen relevanten Einstellungen. Unter dem Reiter *Höhen* sichtbare Höhe und Referenzverweis der Oberkante auf die UKFD.

Eine Wand besteht generell aus mehreren Wandschichten (Tragend, Dämmung, Putz etc.), die aus einer Zusammensetzung verschiedener Materialien eine Wand als konstruktives Element ergibt. Diese Schichten können in Vectorworks für jede Wand angelegt und bearbeitet werden, wie die Abbildung 5.12 durch die Schaltfläche *Schichten* andeutet. Für die Bestandswände wurde eine Schicht angelegt, die die jeweilige Stärke der Wand hat. Jegliche Wände die neu hinzukamen, um neue Räumlichkeiten zu bilden, wurden solid rot eingefärbt. Dies ist die gängige Darstellungsart für neue Elemente, wohingegen die Farbe Gelb für Strukturen steht, die abgerissen werden. Insbesondere die Außenwände des Wohnhauses sollen eine neue Außendämmung auf der Fachwerkwand erhalten, sodass nur ein Teil der Wand rot eingefärbt wurde. Hierfür wurden drei Schichten der Wand erzeugt, eine Tragende und zwei Dämmungsschichten [Abb. 5.13], die in einem eigenen Kontextmenü in der Darstellung und Dicke angepasst wurden [Abb. 5.14]. Die Abbildung 5.15 zeigt den Grundriss des EG mit den eingefärbten Wänden. Diese Färbung ist allerdings nur in der Ansicht *2D-Plan* zu sehen, wird die Ansicht rotiert, entsteht eine Projektion, die beispielsweise gerendert dargestellt werden kann. Zudem wurden die erzeugten Wanddarstellungen als Stil gesichert, so dass diese mit einem Klick auf weitere Wände angewandt werden konnten, ohne die Einstellungen erneut manuell vornehmen zu müssen.

## 5. ENTWURF UND GENEHMIGUNGSPLANUNG

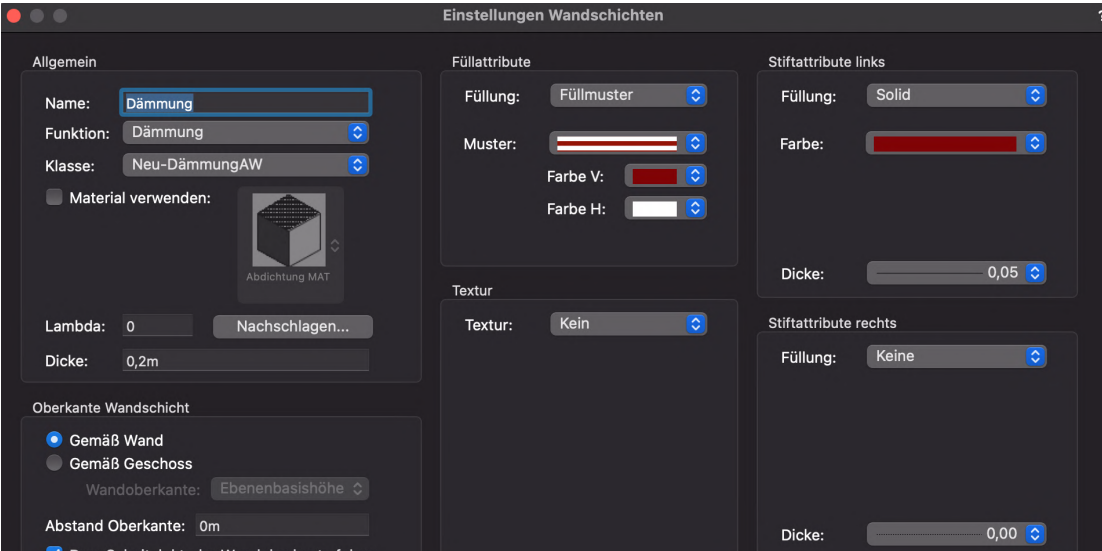


Gesamtdicke: 0,54m (durch Schichten definiert)

Schichten:

| # | Name        | Kern | Funktion | Klasse      | Material | Dicke | U-W... | Oberkante  | Unterkante  | Verbindung... | Hauptfangpunkte |
|---|-------------|------|----------|-------------|----------|-------|--------|------------|-------------|---------------|-----------------|
| 1 | Dämmung     |      | Dämmung  | Neu-Däm...  | Kein     | 0,2m  | 0,000  | Wandobe... | Wandunte... | Nein          | Keine           |
| 2 | Außendäm... |      | Dämmung  | Neu-Däm...  | Kein     | 0,18m | 0,000  | Wandobe... | Wandunte... | Nein          | Keine           |
| 3 |             |      | Tragend  | <Wie Obj... | Kein     | 0,18m | 0,000  | Wandobe... | Wandunte... | Nein          | Keine           |

**Abbildung 5.13:** Übersicht der Schichten einer Außenwand des Wohnhauses, die eine neue Dämmung (rot) auf die Fachwerkwand (schwarz) erhält.




**Einstellungen Wandschichten**

**Allgemein**

Name: Dämmung

Funktion: Dämmung

Klasse: Neu-DämmungAW

Material verwenden:  Abdichtung MAT

Lambda: 0

Dicke: 0,2m

**Oberkante Wandschicht**

Gemäß Wand

Gemäß Geschoss


Wandoberkante: Ebenenbasishöhe


Abstand Oberkante: 0m


Dem Scheitelpkt. der Wandoberkante folgen

**Füllattribute**

Füllung: Füllmuster

Muster: 

Farbe V: 


Farbe H: 

**Textur**

Textur: Kein

**Stiftattribute links**

Füllung: Solid

Farbe: 

Dicke: 0,05

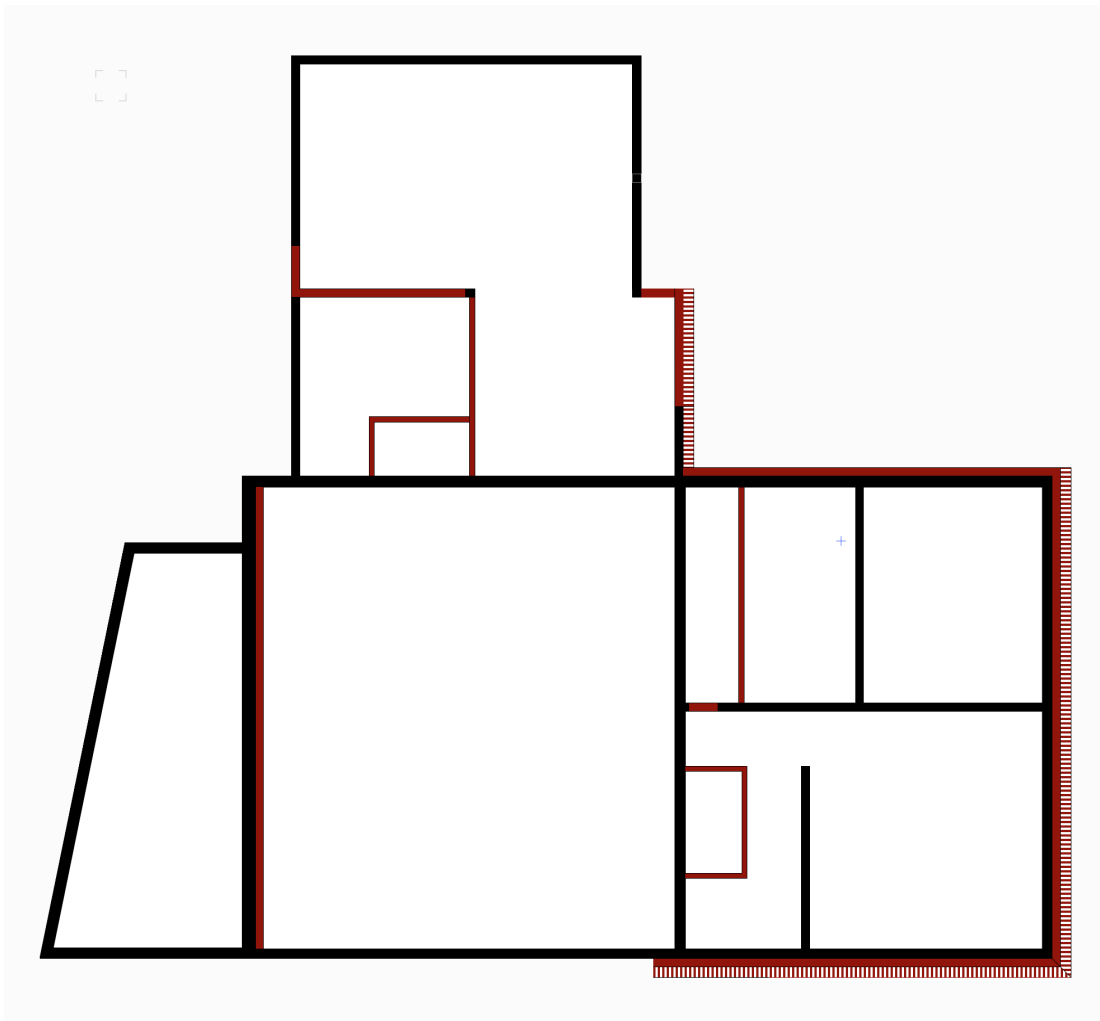
**Stiftattribute rechts**

Füllung: Keine

Dicke: 0,00

**Abbildung 5.14:** Einstellungen der Wandschicht Dämmung, die rot eingefärbt wurde.





**Abbildung 5.15:** Grundriss des EG mit Schichten der Wand. Rote Wände sind neu, Schwarze zählen zu dem Bestand.

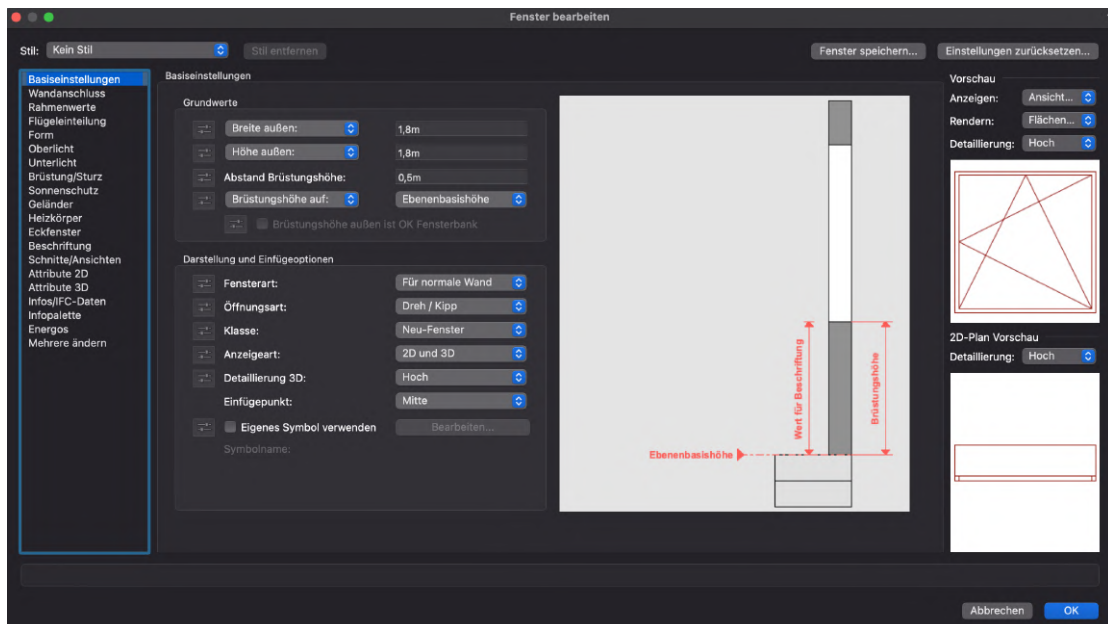
### 5.1.5 Wandöffnungen

Zu den *Wandöffnungen* zählen Fenster und Türen, die in die bereits erzeugten Wände eingesetzt wurden. Für diese kann auf Symbole aus dem Zubehör-Manager zurückgegriffen werden, jedoch wurden die für das Bauernhaus Benutzten innerhalb des Kontextmenüs Fenster/Tür manuell angepasst. Bei diesen handelt es sich um intelligente Objekte, die nach Eintragen der Parameter modelliert werden und in die betreffende Wand eingefügt werden können. Die Objekte passen sich der Wandstärke an und wird diese in einem späteren Verlauf verändert, ändert sich Attribute wie der Breite der Wandaussparung oder aber auch die Position des Fensters. Der Großteil der neuen Fenster wird in die bereits vorhandenen Wandöffnungen eingesetzt, da dort bereits Aussparungen in der Fachwerkwand vorhanden sind. Somit mussten die Fenster lediglich auf die abgenommenen Maße des Aufmaßes (Brüstungshöhe,

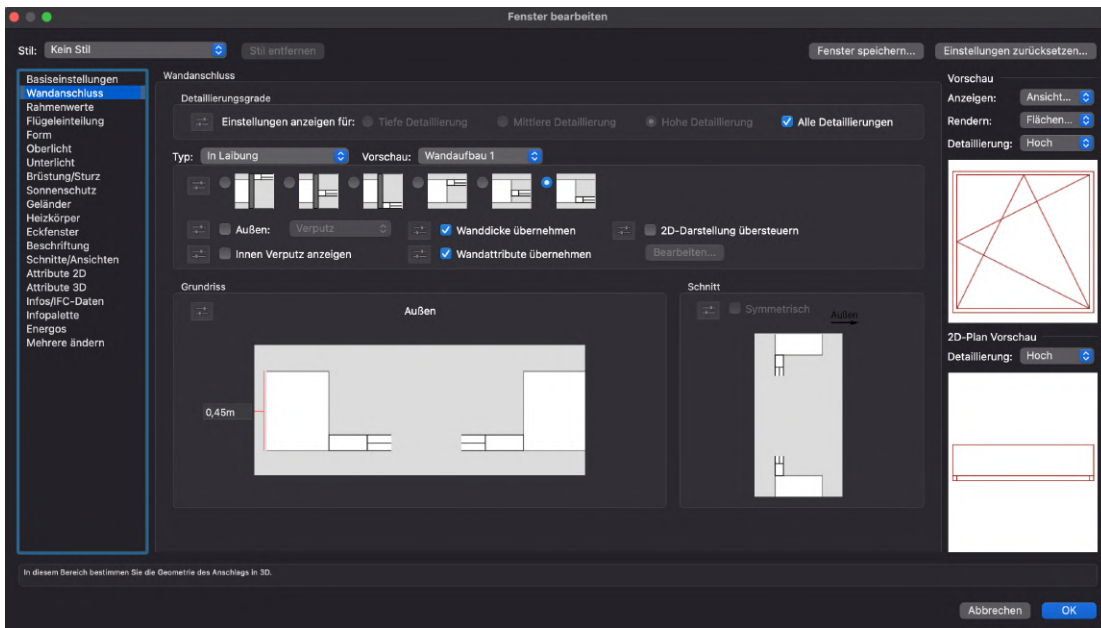
## 5. ENTWURF UND GENEHMIGUNGSPLANUNG

Breite und Höhe) eingestellt werden [Abb. 5.16], sowie deren Wandanschluss (mittig, innen, außen) festgelegt werden [Abb. 5.17]. Damit die neuen Fenster jedoch farbig gekennzeichnet sind, wurden diesen in den 2D- und 3D-Attributen eine rote Liniendarstellung zugewiesen, die auf Abbildung 5.18 rechts zu sehen ist. Die Verglasung eines Fensters ist ebenfalls über die 2D- und 3D-Attribute zu bearbeiten und allen verglasten Teilen der Fenster wurde das Material Glas zugewiesen 5.19. Insbesondere für die Isometrie des Gebäudes ist dies von Vorteil, da ein realistischer Einblick in das Innenleben gewährt wird. Ein Großteil der gängigen Materialien ist in dem Zubehör-Manager zu finden, kann allerdings auch aus dem Internet heruntergeladen und importiert werden. Generell können Materialien zudem per Drag-and-Drop auf Objekte angewendet werden.

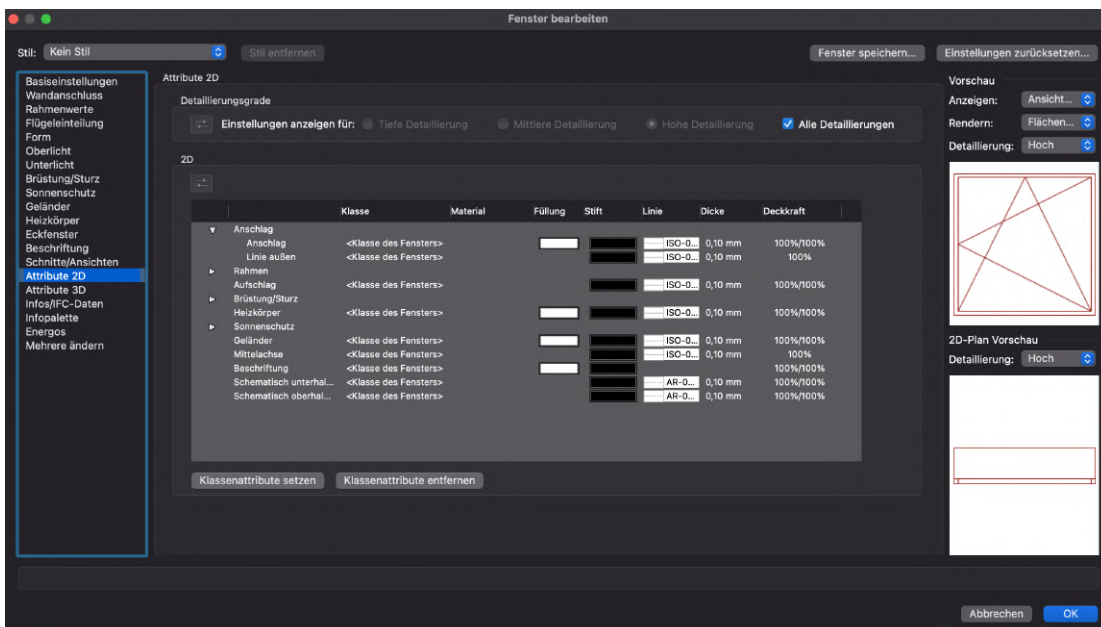
Des Weiteren besteht die Möglichkeit, von einem spezifischen Hersteller die 2D- und 3D-Komponenten seiner angebotenen Produkte als DWG- oder DXF-Datei herunterzuladen und diese in Vectorworks zu importieren. Diese müssen gegebenenfalls skaliert werden und können anschließend selbst in ein Symbol umgewandelt werden, so dass diese auch in anderen Projekten in dem Zubehör-Manager verfügbar sind. Dies gilt für jegliche Elemente und bezieht sich nicht nur auf Fenster und Türen.



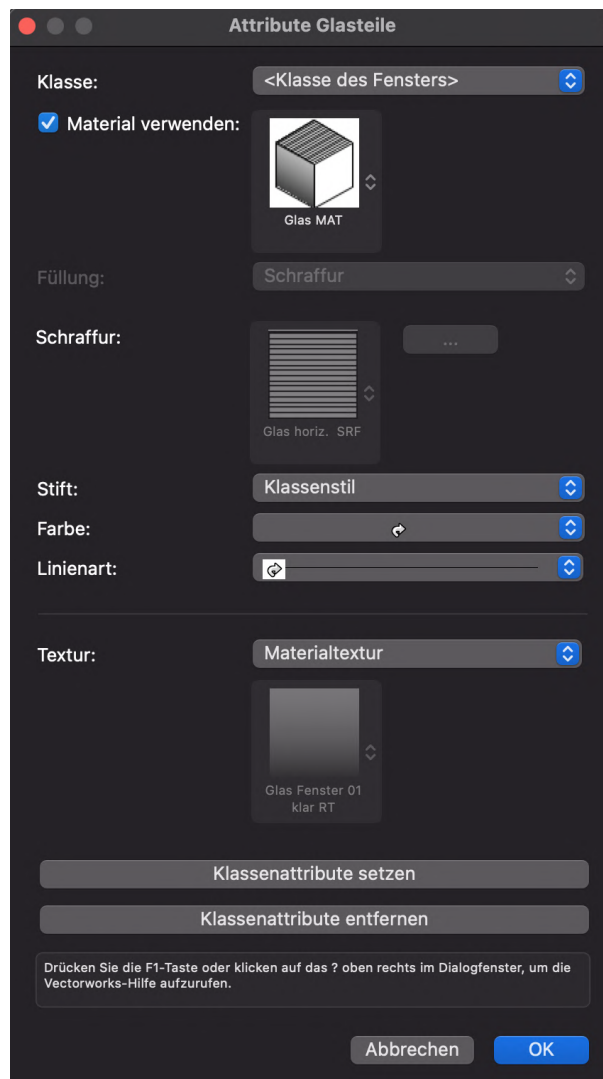
**Abbildung 5.16:** Basiseinstellungen eines neuen Fensters, wobei dabei insbesondere die Breite, Höhe und die Brüstungshöhe relevant sind, die bei dem Aufmaß ermittelt wurden.



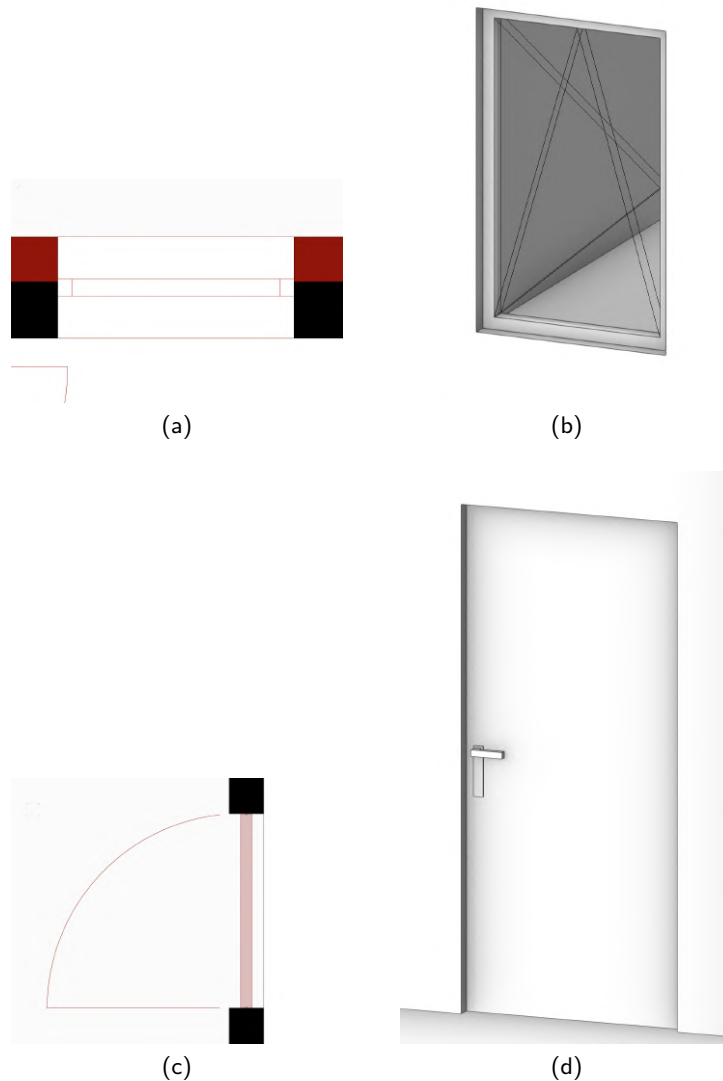
**Abbildung 5.17:** Einstellungen bezüglich des Wandanschlusses des Fensters, das verschiedene Typen zulässt. Bei diesem wurde das Fenster in der Laibung angebracht.



**Abbildung 5.18:** Übersicht der 2D-Attribute, die entweder von einem Fensterstil übernommen werden können, oder wie hier manuell bearbeitet wurden.



**Abbildung 5.19:** Innerhalb der 3D-Attribute der Fenster für die Glasteile zugewiesenes Glas-Material, das die Transparenz in den Ansichten beeinflusst.

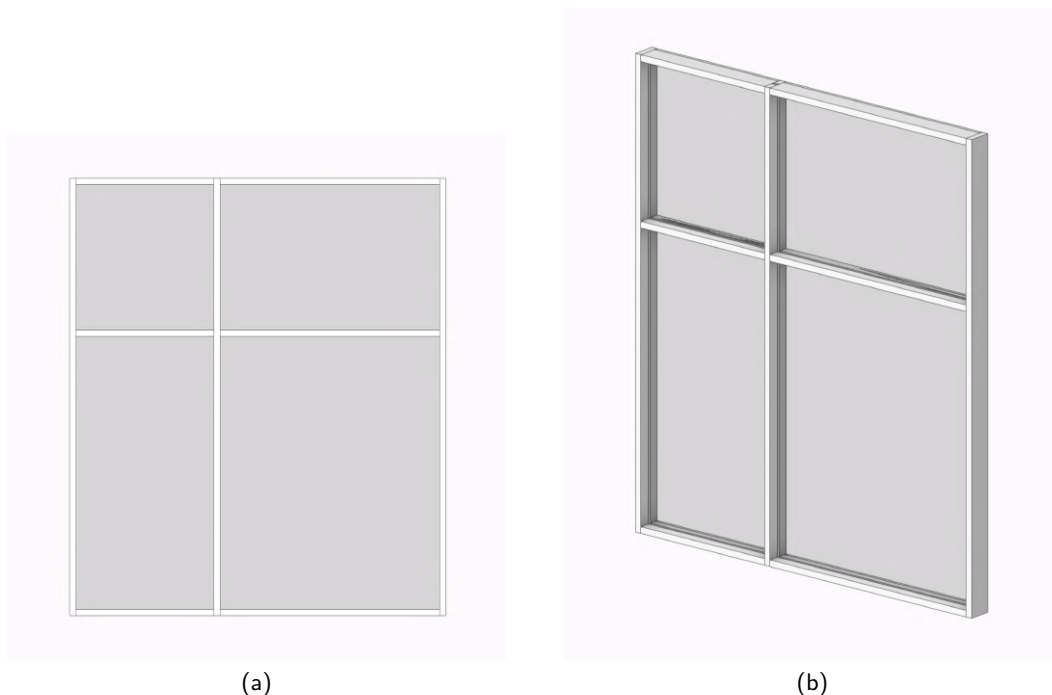


**Abbildung 5.20:** Neues Fenster in **a** 2D-Draufsicht und **b** schwacher Perspektive als Volumenmodell. Neue Tür in **c** 2D-Draufsicht und **d** schwacher Perspektive als Volumenmodell.

Als weitere Wandöffnungen wurden die Eingangstür und das Scheunentor erstellt. Bei diesen handelt es sich jedoch nicht um ein Fenster oder eine Tür, sondern um eine Pfosten-Riegel-Konstruktion. Diese ersetzt eine Wand und besteht aus Pfosten (vertikal) und Riegeln (horizontal), sowie großflächigen Verglasungen. Auch für diese besteht ein separates Menü, in dem die Gesamtbreite, die Höhe und Anzahl der Riegel festgelegt werden kann. Das System generiert daraufhin automatisch aus einer ausgewählten Wand eine Pfosten-Riegel-Konstruktion. Für das Scheunentor wurde ein Riegel in Höhe des Türsturzes positioniert, sodass der Teil unterhalb als Scheuneneingangstür mit einer Höhe von 2,10 Meter geöffnet

werden kann und der Teil der Verglasung oberhalb des Riegels bleibt hingegen festverglast. Die Abbildung 5.21 veranschaulicht das Scheunentor, das durch die Verglasung einen hohen Lichteinfall in die Scheune erlaubt, die zuvor bei geschlossenem Tor kaum ohne Beleuchtung betretbar war.

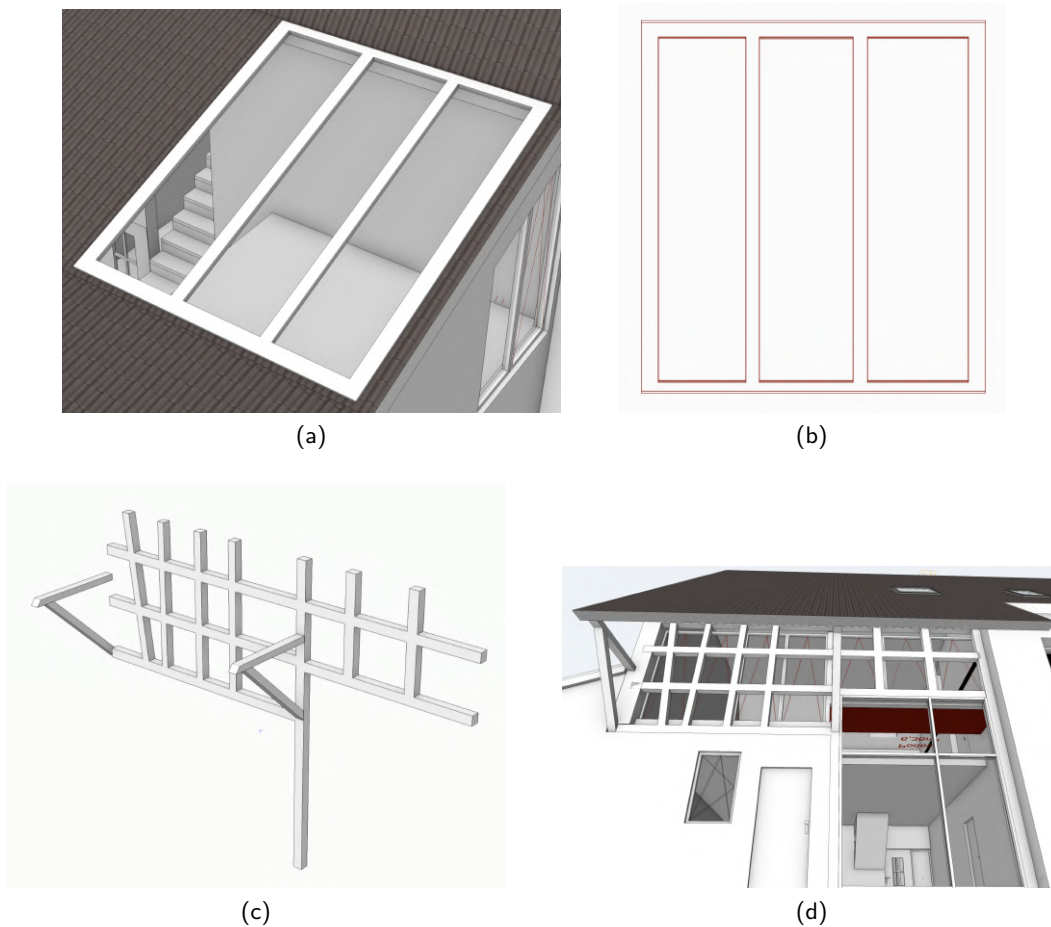
Diese Konstruktion kann zudem über ein Dialogfenster jederzeit bearbeitet werden und deren Darstellung angepasst werden. Auch für diese Verglasung kann das Material Glas angewendet werden, wie bereits bei den Fenstern erläutert wurde.



**Abbildung 5.21:** Neues Scheunentor, das aus einer Pfosten-Riegel-Konstruktion besteht. Diese ist ein Fassaden-Element, das eine beliebige Anzahl an Pfosten und Riegel besitzen kann.

Außerdem wurden zwei Elemente manuell modelliert, da für diese keine geeigneten Symbole oder intelligente Objekte zur Verfügung standen. Zum einen wurde das große Dachfenster über dem neuen Dach des Anbaus und zum anderen das Fachwerkgerippe der Scheunenaußenwand im Obergeschoss in 3D generiert. Für das Fenster wurden 2D-Rechtecke extrudiert und durch die boolesche Operation *Schnittvolumen löschen* wurden die Aussparungen für die Glasscheiben erzeugt [Abb. 5.22 a-b]. Diese wurden ebenfalls erzeugt und mit dem Glas-Material versehen, sodass dieses in den Renderings einen realistischen Einblick in das 3D-Modell ermöglicht.

Das Fachwerkgerippe wurde nach dem Messen der Pfostenstärke aus extrudierten Rechtecken erzeugt und als Gruppe zusammengefasst [Abb. 5.22 b-d].



**Abbildung 5.22:** Manuell modelliertes, großflächiges Dachfenster des Anbaus in **a** mittlerer Perspektive und **b** 2D-Draufsicht. Fachwerkgerippe der Scheunen-Außenwand in **c** mittlerer Perspektive und **d** Untersicht auf diese.

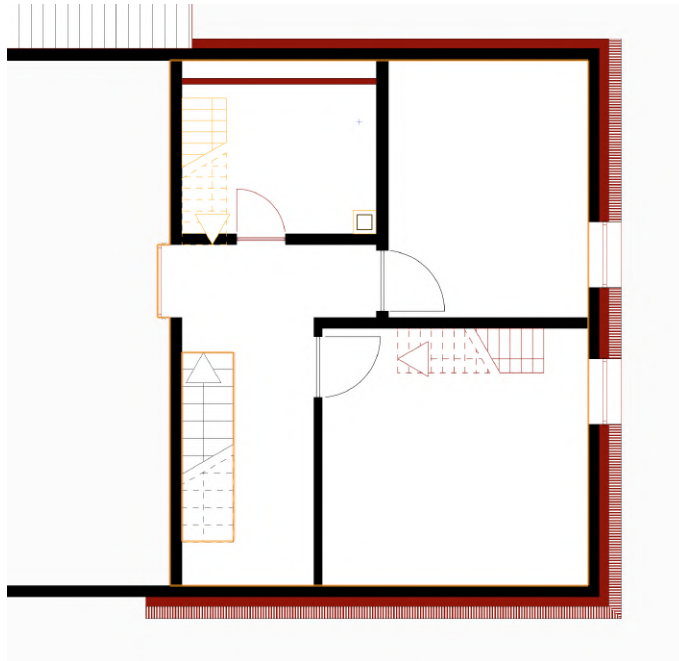
### 5.1.6 Decken und Böden

Für *Böden* und *Decken* bestehen die gleichen Einstellungen wie für Wände. Diese werden als Rechteck oder Polygon gezeichnet und anschließend automatisch in ein intelligentes Objekt umgewandelt. Diese haben ebenfalls ein eigenes Kontextmenü, in dem die Schichten bearbeitet werden können und die jeweilige Darstellung der einzelnen Schichten oder des gesamten Deckenaufbaus angepasst werden kann. Da auch hier noch keine Unterteilung in die Schichten für die Entwurfsplanung benötigt ist, wurde eine solide Darstellung in schwarz für alle Decken eingestellt, da diese in dem später erzeugten Schnitt der der Wände gleicht. Um Deckenöffnungen für Treppen zu erzeugen, kann ein 2D-Rechteck über die Treppe gelegt werden, dass über die boolesche Operation *Schnittfläche löschen* aus der 3D-Decke entfernt wird. Die Decke ist an dieser Stelle nun geöffnet und ermöglicht die Sicht in das untere Geschoss. Die Decke des Erdgeschosses bildet den Boden des Obergeschosses und ist auf

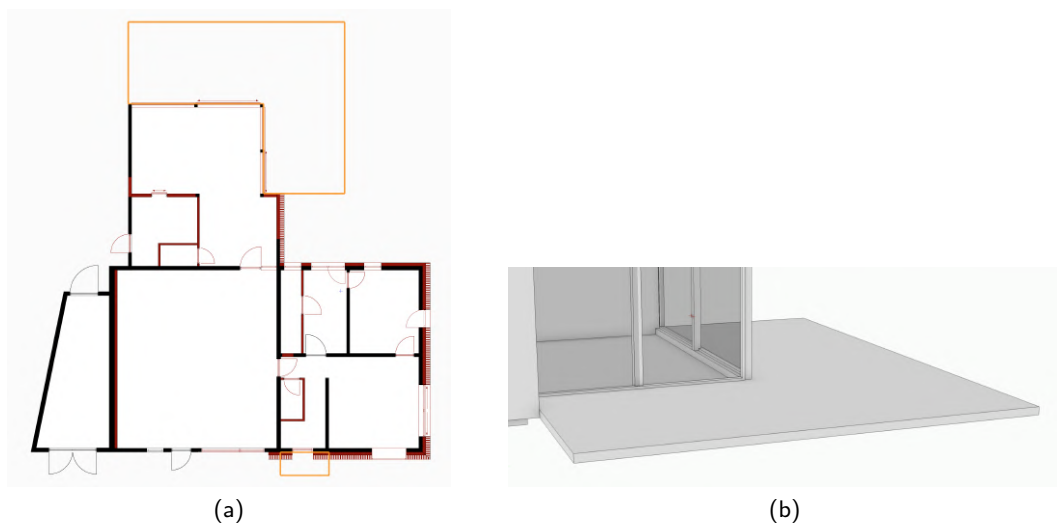
## 5. ENTWURF UND GENEHMIGUNGSPLANUNG

---

Abbildung 5.23 zu sehen. Die Terrasse [Abb. 5.24] und das Podest der Eingangstüre wurden ebenfalls mit Hilfe des Bodenwerkzeugs erstellt und bestehen beide aus je einer Schicht.



**Abbildung 5.23:** Aktivierte Decke (orange) des EG im Obergeschoss.

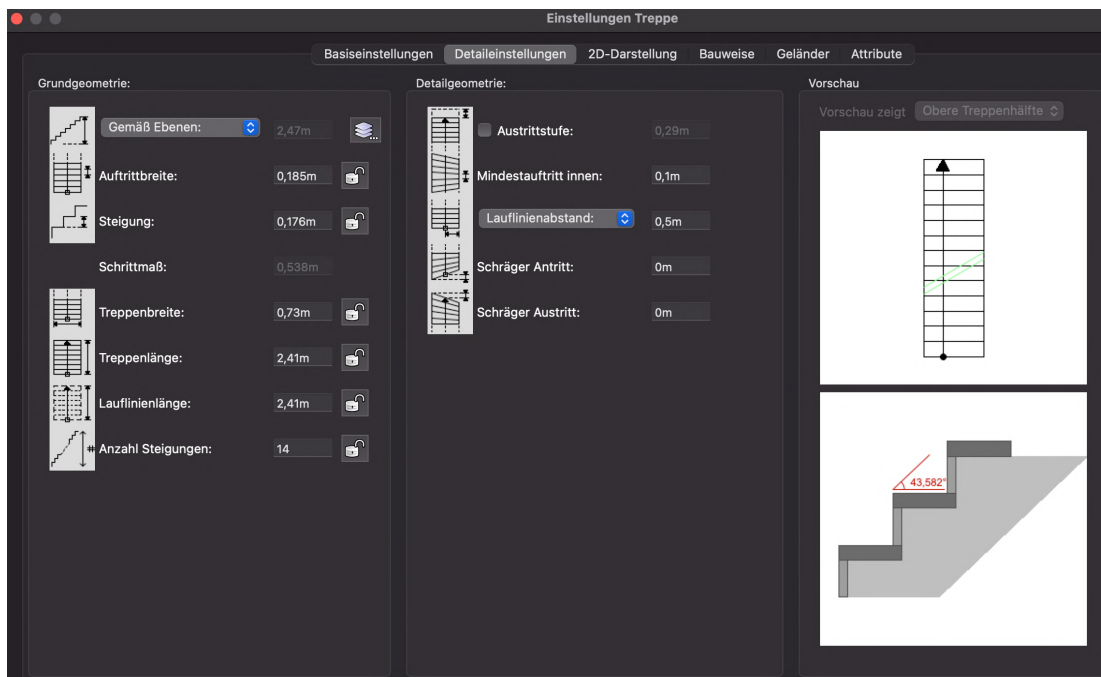


**Abbildung 5.24:** Erzeugte Terrasse vor dem Anbau des Bauernhauses.



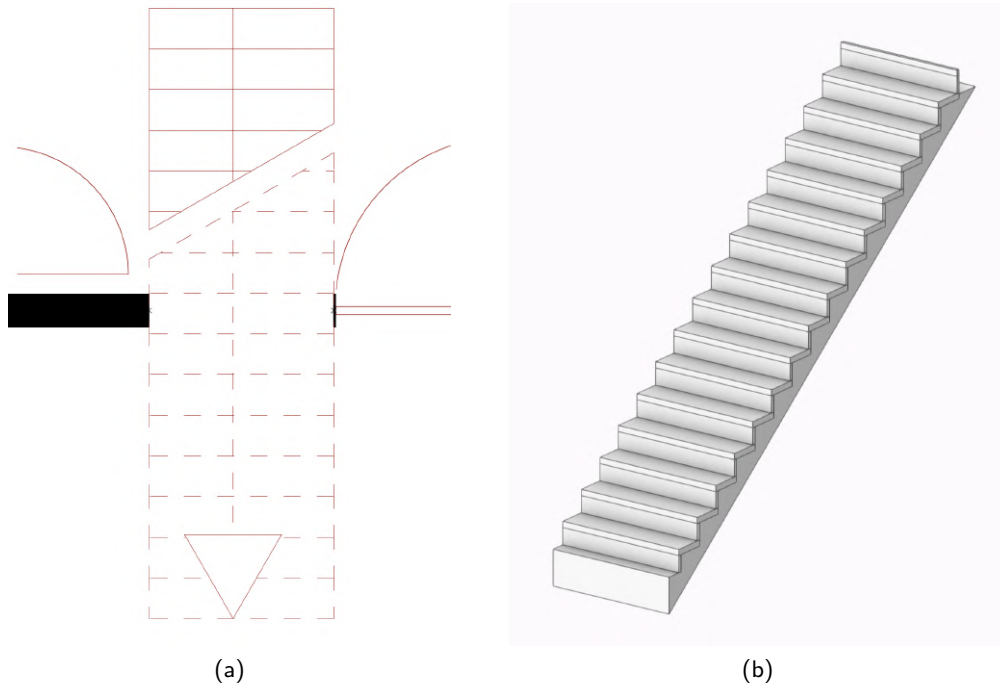
### 5.1.7 Treppen

Innerhalb der Werkzeuggruppe Architektur findet sich das *Treppen*-Werkzeug. Mit Hilfe von diesem wurden die Treppen des Hauses rekonstruiert und die neuen Treppen modelliert. Durch Eingabe der Werte in dem Dialogfenster wird eine Treppe zum Einfügen zur Vergügung gestellt. Diese kann in 2D oder hybrid als 2D- und dazugehörige 3D-Komponente in die Zeichenebene eingefügt werden<sup>5</sup>. Insbesondere die Treppe des Dachgeschosses soll an ihre derzeitigen Position entfernt und in einem anderen Raum neu positioniert werden. Hierfür kann die Treppe dupliziert werden und in ihren Attributen bearbeitet werden, sodass sie einmal in gelb (Abbruch) und einmal in rot (Neu) in dem Plan dargestellt wird. Die Abbildung 5.25 veranschaulicht das Kontextmenü, in dem die Treppe des EG bearbeitet wurde. Wichtige Maße sind die Lauflinienlänge (Länge der Treppe), Steigung und Auftritt sowie die Geschosshöhe, die ebenfalls die vorab definierte Höhenvergabe referenzieren kann. Zudem muss eine Treppenform gewählt werden, wobei in diesem konkreten Fall eine gerade Treppe verwendet wurde. Die Abbildung 5.26 zeigt die 2D-Darstellung in dem Grundriss des EG und das 3D-Modell in einer schwachen Perspektive. Sollten sich im späteren Planungsverlauf Änderungen ergeben, können die eingefügten Treppen rapide über das jeweilige Kontextmenü bearbeitet werden.



**Abbildung 5.25:** Kontextmenü der Treppe des EG der Scheune, in der die benötigten Parameter zur Erzeugung eingetragen werden.

<sup>5</sup> [http://vectorworks-hilfe.computerworks.eu/2017/VW\\_2017\\_Handbuch\\_Vectorworks/25\\_VW\\_WerkzBef\\_T/Vectorworks\\_11-.htm](http://vectorworks-hilfe.computerworks.eu/2017/VW_2017_Handbuch_Vectorworks/25_VW_WerkzBef_T/Vectorworks_11-.htm). Abgerufen am 30.06.2022

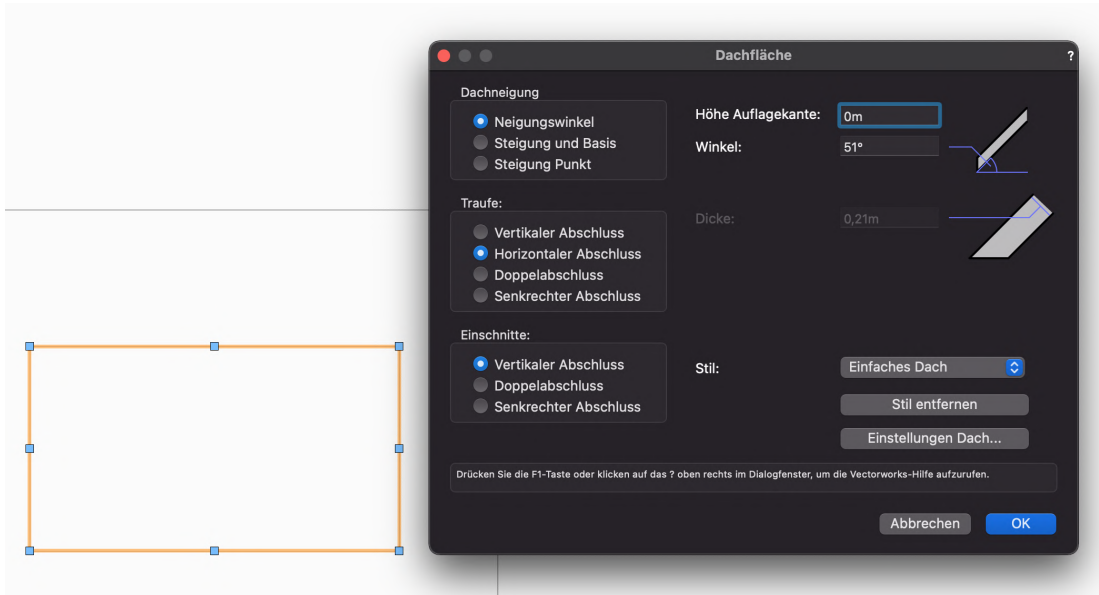


**Abbildung 5.26:** **a** 2D-Draufsicht und **b** schwache Perspektive der Treppe als Volumenmodell.

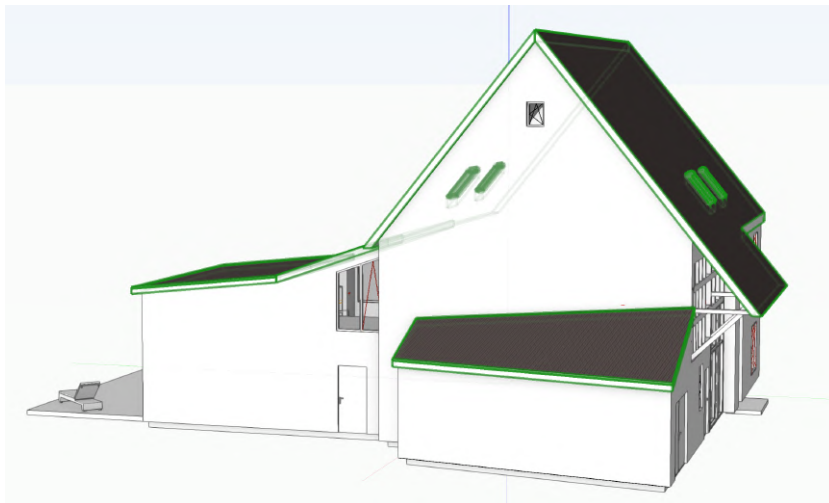
### 5.1.8 Bedachung

Ein *Dach* kann entweder durch Eingabe von Parametern erzeugt werden, oder als 2D-Fläche gezeichnet und durch einen Befehl in eine 3D-Dachfläche umgewandelt werden. Die Dachfläche des Haupthauses wurde als 2D-Rechteck angelegt und anschließend in eine Dachfläche umgewandelt, wie auf Abbildung 5.27 zu sehen ist. Das System benötigt lediglich Informationen über die Auflagekante, auf der das Dach aufliegt, und der Dachneigung als Winkel in Grad. Für die Traufe wurde ein horizontaler Abschluss ausgewählt. Die Dachfläche wurde über den Dachfirst gespiegelt und durch boolesche Operationen angepasst, so dass über der Scheune ein größerer Dachüberstand entsteht als über dem Wohnhaus. Die Dachfläche wurde um 3D-Dachfenster-Symbole ergänzt, da diese mehr Lichteinfall in dem Dachgeschoss ermöglichen. Das Dach des Anbaus, das direkt an das des Wohnhauses angrenzt, wird neu konstruiert und erhöht, das weitere Dach soll lediglich neu gedeckt werden. Wie bereits bei den Wänden erläutert, kann auch das Dach in seinen Schichten bearbeitet werden. Allerdings wurde für die Dächer auf einen vorgefertigten, einfachen Stil aus dem Zubehör-Manager zurückgegriffen, der aus einer Dämmung und einer Dachdeckung besteht. Die Attribute wurden angepasst, so dass das neue Dach des Anbaus in den Ansichten geschnitten solid rot und bei Ansicht dessen rote Kanten besitzt. Die neue Dachdeckung des weiteren Daches wurde ebenfalls solid rot bei Schnitt eingestellt und ansonsten mit einer roten Kantenfarbe

versehen. Es wurden insgesamt fünf Dachflächen erzeugt, die unterschiedliche Dachstärken und somit Dämmschichtstärken aufweisen [Abb. 5.28].



**Abbildung 5.27:** Gezeichnetes 2D-Rechteck, das über den Befehl *Dachfläche anlegen* in ein 3D-Dach mit Neigung Auflagekante und Traufenabschluss umgewandelt wird.



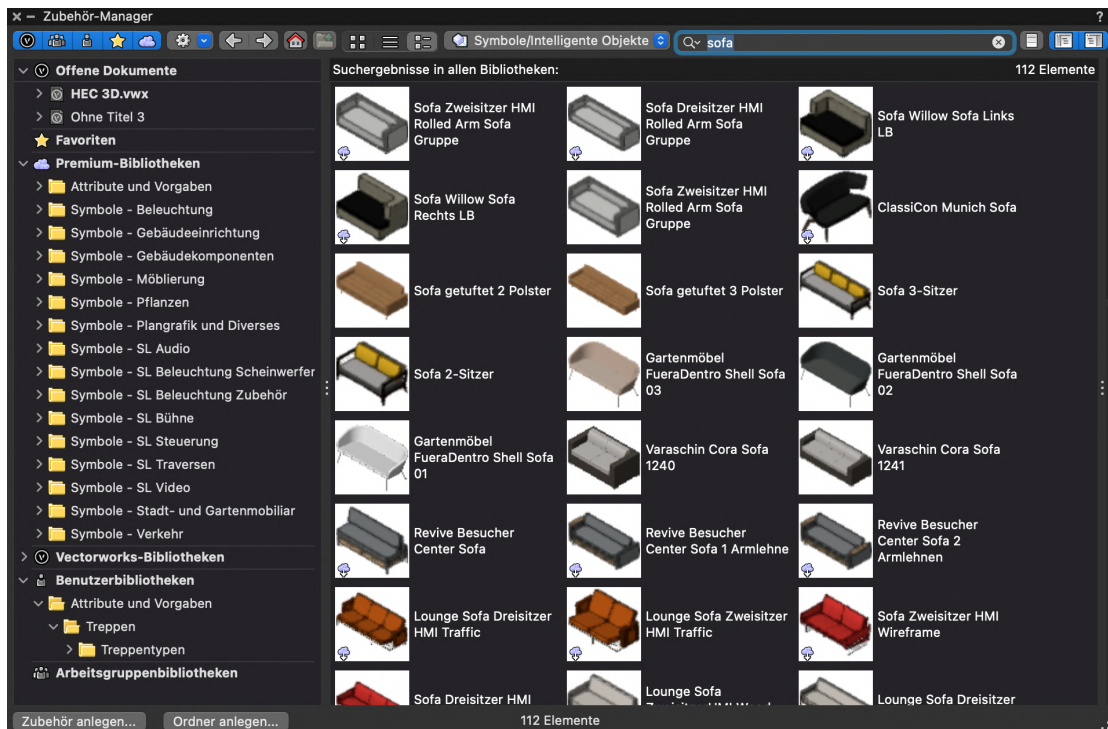
**Abbildung 5.28:** Aktivierte Dachflächen (grün) des Bauernhauses.

### 5.1.9 Möblierung und Sanitär

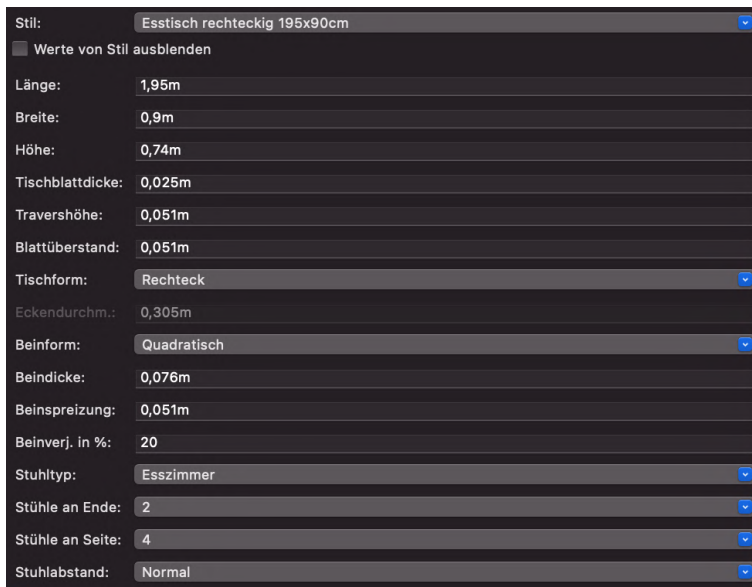
Die *Möblierung* der Räume ist nicht zwingend notwendig für einen Baugesuchsantrag, jedoch kann diese durch vereinzelte Objekte angedeutet werden und erleichtert dem Betrachter

## 5. ENTWURF UND GENEHMIGUNGSPLANUNG

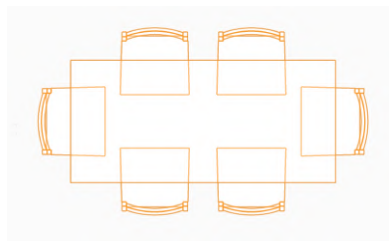
die Orientierung. Der Zubehör-Manager, der auf Abbildung 5.29 zu sehen ist, bietet eine Vielzahl an Möblierungsgegenständen, die bereits vorgefertigt ist. Darunter zählen Schränke, Einbauküchen, Regale, Kommoden, Betten und vieles mehr. Die Symbole sind überwiegend in 2D und 3D verfügbar und können in ihrer Form entweder manuell oder teilweise über Parameter bearbeitet werden. Die Parameter werden in der Infobox verändert, wie die Abbildung 5.30 zeigt und bieten verschiedene Varianten eines Symbols, die das System automatisch als Modell ausgibt [Abbildung 5.31]. Die Abbildung 5.32 veranschaulicht unter anderem den Tisch in seiner finalen Position und Ausführung in dem Anbau der Scheune. Die Symbole können ebenfalls sehr einfach substituiert werden, da ein Ersatzsymbol aus dem Zubehör-Manager angewählt werden kann, das an dieselbe Stelle des Vorherigen platziert wird. Dies ermöglicht einen schnellen Austausch der Symbole. Bei Symbolen handelt es sich nicht um intelligente Objekte, sondern um Zubehör.



**Abbildung 5.29:** Fenster des Zubehör-Managers, der vorgefertigte Symbole, intelligente Objekte, Stile, Texturen und mehr enthält. Der Suchfilter lässt sich über das Dropdown-Menü neben der obigen Suchzeile konkretisieren.



**Abbildung 5.30:** Informationsbox eines Tisches des Zubehör-Managers, der die Einstellungen seiner Parameter zulässt.



(a)



(b)

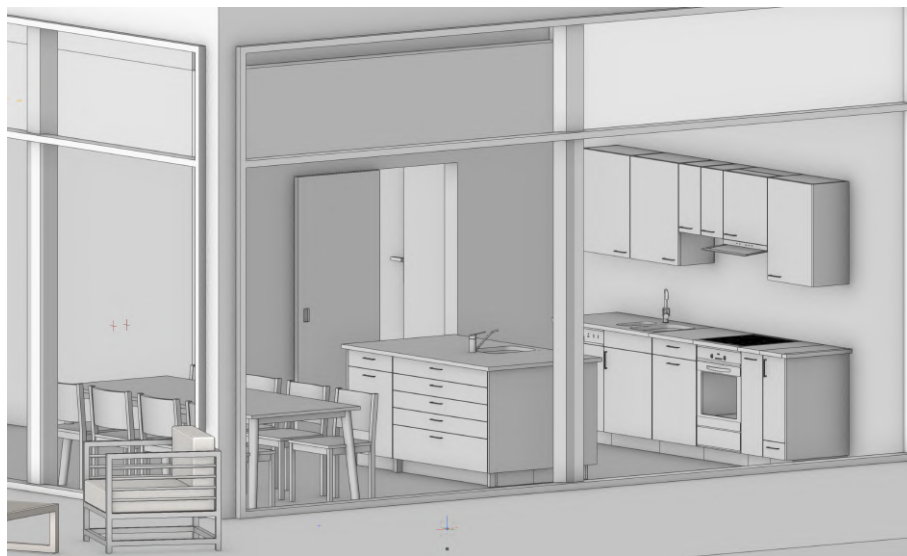


(c)



(d)

**Abbildung 5.31:** 2D-/3D-Symbol eines Esstisches mit sechs Stühlen in **a** der 2D-Draufsicht und der 45-Grad-Kavallierperspektive in verschiedenen Ausführungen **b-d**.



**Abbildung 5.32:** Essbereich in dem Anbau der Scheune mit 2D-/3D-Symbolen als Möblierung.



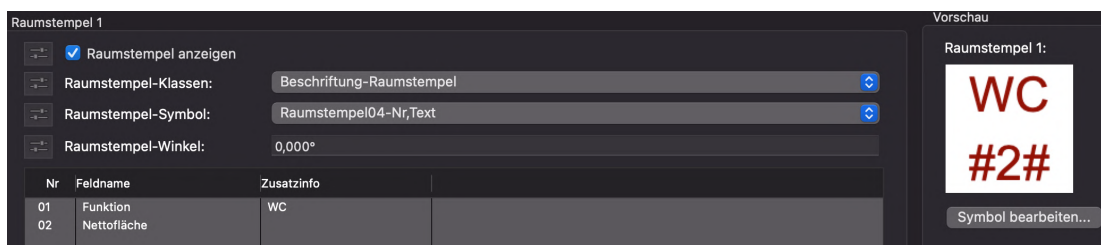
**Abbildung 5.33:** Grundriss des EG mit ein- und ausgeblendeter Möblierung.

Die *Sanitäreinrichtungen* wurden einer separaten Klasse zugeordnet, da diese teilweise getrennt von der restlichen Möblierung betrachtet werden muss. Dies kann vorkommen, wenn mit den Fachplanern für Sanitär vorab gesprochen werden muss, um von diesen eine erste Meinung zu dem Entwurf zu erhalten. Dabei bietet es sich zur Überschaubarkeit an, die restliche Möblierung unsichtbar zu schalten. Diese Sanitärelemente wurden genauso dem

Zubehör-Manager entnommen, da dieser eine Vielzahl an Toiletten, Duschwannen, Bädewannen und Waschbecken von namhaften Herstellern anbietet, die in verschiedenen Maßen zur Verfügung stehen.

### 5.1.10 Raumstempel

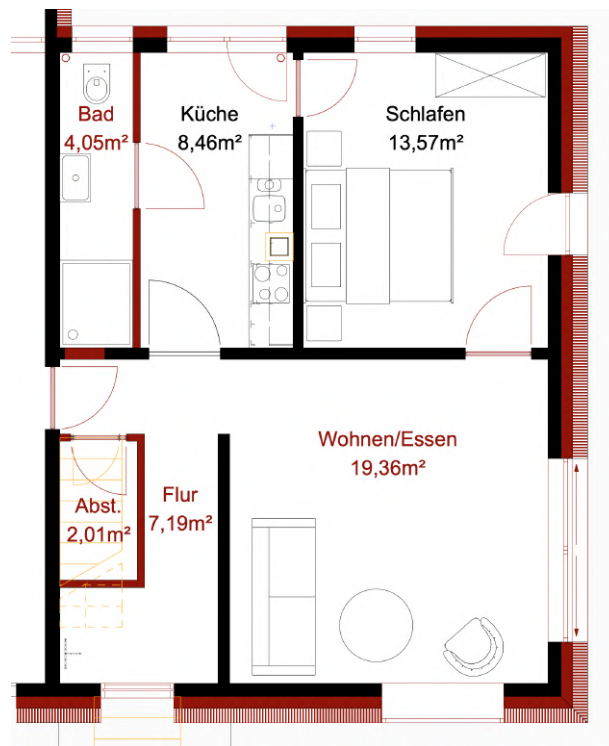
Das Werkzeug *Raum* bietet das Abstempeln der Räumlichkeiten an. Diese werden mit einem Stempel versehen, der in der Regel die Funktion, die Fläche und weitere Maße wie der OKRB oder der OKFB anzeigt. Diese Stempel können als 2D-Polygon oder -Rechteck gezeichnet werden, sodass aus dieser Fläche automatisch ein Stempel mit der Beschriftung angelegt wird, oder durch Anwählen der umgebenden Wände. Das System errechnet somit die anzuzeigende Fläche, wobei die Funktion (z.B. Küche, Flur, Schlafen) jedem Stempel manuell zugeteilt werden muss. Auch Stempel können in ihrer Darstellung innerhalb der Einstellungen bearbeitet werden und die Präferenzen, die angezeigt werden sollen, werden ausgewählt [Abb. 5.34]. Da einige Räume des Bauernhauses eine anderweitige Funktion erhalten, als im Bestandsplan angegeben ist, mussten die Stempel mit einer roten Schrift versehen werden. Die Abbildung 5.35 zeigt die neu entstehende, zusätzliche Wohneinheit im EG des Wohnhauses, die mit Raumstempeln versehen wurde. Lediglich die Küche und das Schlafzimmer werden in ihrer Funktion erhalten und besitzen demnach einen schwarzen Stempel. Die Stempel wurden durch Anwählen der umgebenden Wände erzeugt und werden diese in den weiteren Schritten verschoben oder ihre Schichten angepasst, wird der Stempel automatisch aktualisiert. Über *Schnittfläche löschen* mussten die Flächen der neuen Treppen in dem gesamten Haus abgezogen werden, da diese nicht zu der Wohnfläche gerechnet werden. Die Raumstempel wurden als Grundlage einer Tabelle verwendet, die die zum einen die Flächen des Bauernhauses pro Geschoss aufstellt. Diese wurde innerhalb der CAD-Software generiert und sind Grundlage für die Berechnung des Honorars eines Architekten. Zum anderen wurde eine Fensterliste erstellt [Abb. 5.36], die ebenfalls in Vectorworks erzeugt wurde. Durch den Zugriff auf die Datenbank können Informationen über einen Filter abgerufen und in einer Tabelle ausgegeben werden [Abb. 5.37]. Diese Tabellen können entweder exportiert werden oder auf einer Layoutebene platziert werden.



**Abbildung 5.34:** Einstellungsmöglichkeiten des Raumstempels. Dabei wird ausgewählt, welche Informationen in der 2D-Draufsicht sichtbar sind. Hier *Funktion* und *Raumfläche*.

## 5. ENTWURF UND GENEHMIGUNGSPLANUNG

---

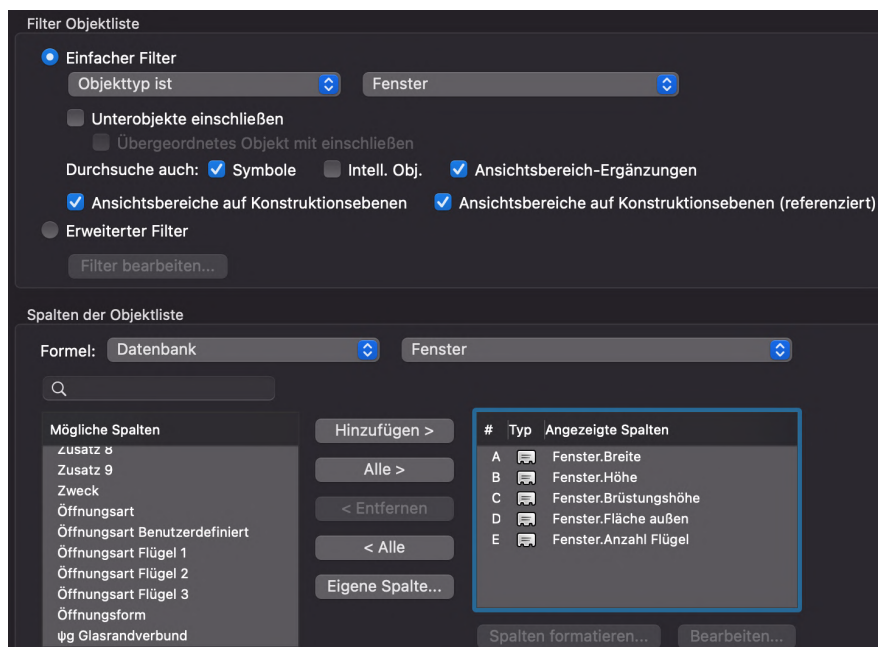


**Abbildung 5.35:** Raumstempel der Wohneinheit des EG.



|      | A       | B       | C             | D            | E             |
|------|---------|---------|---------------|--------------|---------------|
| 1    | Breite  | Höhe    | Brüstungshöhe | Fläche außen | Anzahl Flügel |
| 2    | 44,418m | 43,805m | 11,74m        | 98,204       | 37            |
| 2.1  | 6,23m   | 3,5m    | 0,15m         | 21,805       | 2             |
| 2.2  | 1,67m   | 1,7m    | 0,42m         | 2,839        | 1             |
| 2.3  | 0,8m    | 1,3m    | 1m            | 1,04         | 1             |
| 2.4  | 0,76m   | 2,01m   | 0m            | 1,528        | 1             |
| 2.5  | 4,2m    | 3,5m    | 0,15m         | 14,7         | 2             |
| 2.6  | 0,85m   | 2,2m    | 0m            | 1,87         | 1             |
| 2.7  | 2,51m   | 2,56m   | 0m            | 6,426        | 2             |
| 2.8  | 1,64m   | 2,2m    | 0m            | 3,608        | 2             |
| 2.9  | 0,84m   | 1,3m    | 1m            | 1,092        | 1             |
| 2.10 | 0,84m   | 1,3m    | 1m            | 1,092        | 1             |
| 2.11 | 1,5m    | 2,275m  | 0m            | 3,025        | 2             |
| 2.12 | 2,9m    | 2,4m    | 0m            | 5,512        | 2             |
| 2.13 | 1,3m    | 1,3m    | 0,9m          | 1,69         | 1             |
| 2.14 | 1,8m    | 1,8m    | 0,5m          | 3,24         | 1             |
| 2.15 | 2,53m   | 1,3m    | 0,9m          | 3,289        | 3             |
| 2.16 | 0,84m   | 1,2m    | 0,9m          | 1,008        | 1             |
| 2.17 | 1,7m    | 1,7m    | 0,5m          | 2,89         | 1             |
| 2.18 | 3,79m   | 2,54m   | -0,2m         | 9,627        | 4             |
| 2.19 | 3,358m  | 1,82m   | 0,52m         | 6,112        | 3             |
| 2.20 | 1,08m   | 1,2m    | 0,9m          | 1,296        | 1             |
| 2.21 | 1,08m   | 1,2m    | 0,9m          | 1,296        | 1             |
| 2.22 | 1,2m    | 2,1m    | 0m            | 2,52         | 1             |
| 2.23 | 0,5m    | 0,7m    | 1,1m          | 0,35         | 1             |
| 2.24 | 0,5m    | 0,7m    | 1,1m          | 0,35         | 1             |

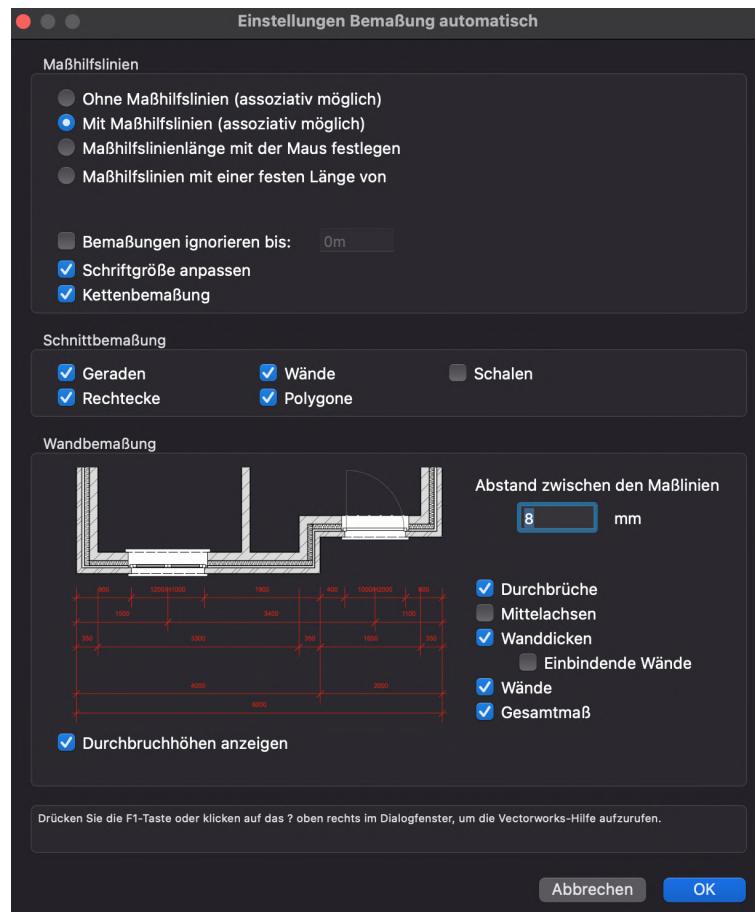
**Abbildung 5.36:** Automatisiert generierte Tabelle der Fenster mit Informationen über die Breite, Höhe, Brüstungshöhe, Fläche und Anzahl der Flügel.



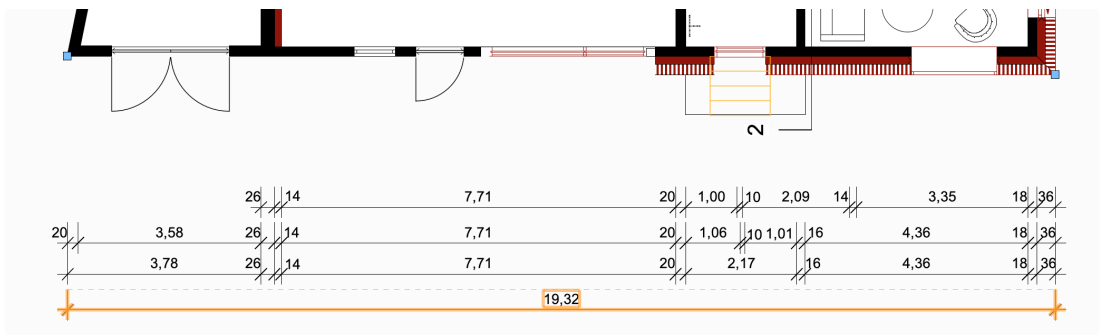
**Abbildung 5.37:** Tabellen-Einstellungen mit Filter der Objektliste und den Spalten.

### 5.1.11 Bemaßung

Die Werkzeuggruppe *Bemaßung/Beschriftung* bietet verschiedene Möglichkeiten der Vermaßung. Neben der horizontalen und vertikalen Vermaßung durch Maßketten, die manuell hinzugefügt wird, kann eine automatische Bemaßung angewendet werden, in deren Dialogfenster Einstellungen bezüglich der Maßlichkeiten vorgenommen werden [Abb. 5.38]. Die automatische Bemaßung erzeugt nach Auswählen der Außenwände an einer Seite des Gebäudes sämtliche Maßketten, die benötigt wurden. Darunter zählen die Außenmaße, die Bemaßung jeder einzelnen Räume und die Wandstärken. Dadurch entstanden an jeder Seite mehrere Maßketten, die in ihrer Darstellung bearbeitet werden können. Ändern sich die Maße des Gebäudes, werden auch die Maßketten angepasst, da diese über Fangpunkte an die Geometrien gebunden sind, wie Abbildung 5.39 verdeutlicht. Zu sehen ist dort die aktivierte Maßkette des Gebäudeaußenmaßes und die blauen Fangpunkte an den Ecken. Generell befinden sich die Ketten außerhalb des Gebäudes mit Abstand zu den Gebäudekanten, damit diese übersichtlicher sind.



**Abbildung 5.38:** Kontextmenü der automatischen Bemaßung mit Einstellungen bezüglich der zu bemaßenden Elemente.



**Abbildung 5.39:** Horizontale, automatisch erzeugte Maßketten des Erdgeschosses. Die aktivierte Maßkette zeigt das Gebäudeaußenmaß an und die Punkte (blau), an denen gemessen wird.

### 5.1.12 Layoutebenen und Planableitungen

Neben den Konstruktionsebenen, die zu Beginn des Kapitels erläutert wurden, werden *Layoutebenen* für Planableitungen, die als *Ansichtsbereich* gesichert werden, angelegt. Während Konstruktionsebenen über einen beliebigen Maßstab und verschiedene Darstellungsweisen verfügen, wird die Layoutebene stets als 2D-Plan in dem Maßstab 1:1 dargestellt. Die Layoutebenen können unabhängig voneinander in ihren Druckeinstellungen angepasst werden, die unter anderem das Seitenformat und die Plangröße beinhalten. Da es sich bei dem Bauwerk um ein gesamtes Haus handelt und die Pläne in 1:100 dargestellt werden, wurde dieser Maßstab und das DIN-A3-Format für alle elf Layoutebenen eingestellt, damit der Ansichtsbereich gänzlich auf die Ebene passt. Die Übersicht der Layoutebenen veranschaulicht Abbildung 5.42. Ein oder mehrere Ansichtsbereiche können aus der Konstruktionsebene heraus erzeugt werden und in einer Layoutebene platziert werden. Bei dem Beispielprojekt wurde für die vier Grundrisse der Geschosse in der Konstruktionsebene in der Darstellungsart 2D-Plan ein 2D-Rechteck über den gesamten Grundriss gezeichnet, das als Rahmen für den Ansichtsbereich dient. Aus diesem Rechteck wurde anschließend eine Ansicht angelegt, die auf eine Layoutebene gesetzt und in die anderen drei hinein kopiert wurde. Durch das Dialogfenster Ebenensichtbarkeiten eines Ansichtsbereichs wurden in der jeweiligen Layoutebene alle über dem abzubildenden Geschoss unsichtbar geschaltet, sodass nur das gefragte Geschoss dargestellt wurde. Ebenso die Bemaßung wurde in mehrere Klassen aufgeteilt, sodass diese über die Klassensichtbarkeiten einzeln dazugeschaltet werden konnten und sich nicht alle Maßketten der Geschosse überlagerten.

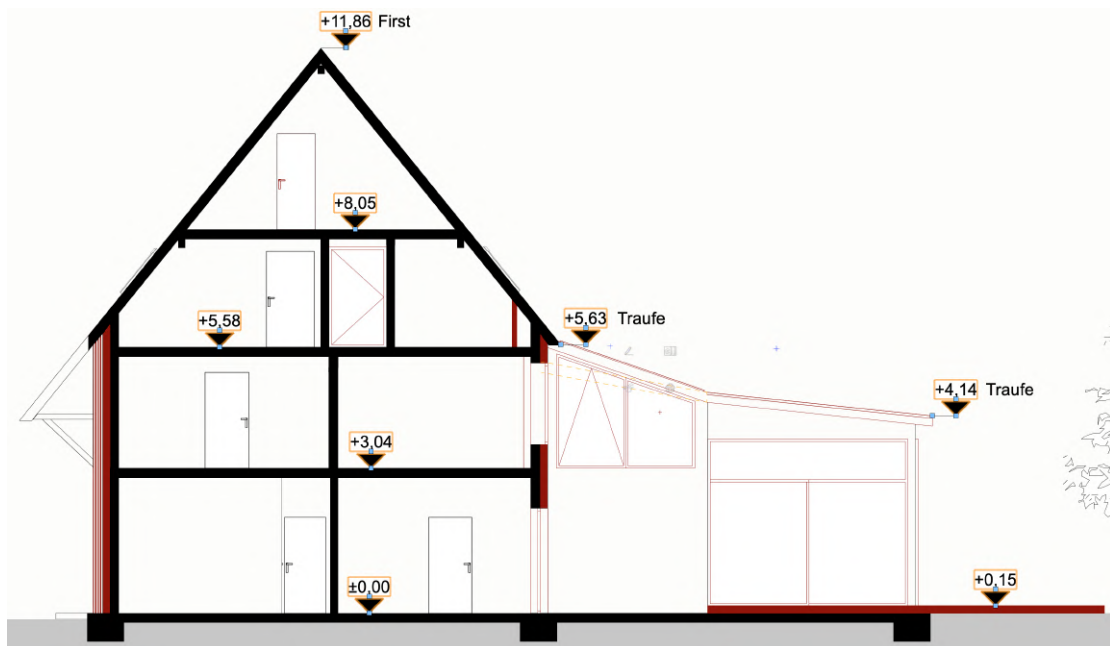
Die Ansichtsbereiche, die das Gebäude aus den vier Himmelsrichtungen zeigt, wurden ebenfalls aus einer Kopie des Ersten erstellt und über das Dropdown-Menü der Standardansichten auf eine orthogonale Ansicht umgestellt. Somit bieten diese jeweils die Sicht auf das Gebäude aus einer anderen Richtung und bilden die Seiten gänzlich ab.

Über den Befehl *Schnitt anlegen* wurde eine Schnittlinie in das Gebäude gelegt, die dieses einmal in dem Wohnhaus und einmal in der Scheune quer in der gesamten Höhe schneidet. Der Schnitt wird nach Bestätigen automatisch generiert und als Ansichtsbereich in die ausgewählte Layoutebene gelegt. Die Schnittlinie lässt sich nachträglich verschieben. Mit

## 5. ENTWURF UND GENEHMIGUNGSPLANUNG

einer vertikalen Maßkette wurden die Raumhöhen und Deckenstärken bemaßt, sowie über eine Kottenbemaßung die Geschoss-, Trauf- und Firsthöhe(n) [Abb. 5.40]. Bei der Kottenbemaßung muss eine Nullkote festgelegt werden, von der aus die anderen Kotten von dem System berechnet werden. Dafür muss mit der Maustaste an die entsprechenden Stellen (hier: OKFB) geklickt werden. Nach Abschluss der Auswahl sind die Kotten sichtbar, können jedoch nachträglich in ihrer Darstellung bearbeitet werden<sup>6</sup>.

Die Ansichtsbereiche können unterschiedlich dargestellt werden. So besteht neben dem verwendeten 2D-Plan die Visualisierung des Modells als Volumen-, Gips- oder Drahtmodell, im Skizzenstil und vielen weiteren Renderstilen, die auf Abbildung 5.41 abgebildet werden. Jedoch kann eine derartige Darstellung beispielsweise als Drahtmodell nicht immer von Vorteil sein und mehr Unklarheiten beschaffen, da sich zu viele Kanten überlagern. Für die angefertigten Isometrien der letzten Seite des Bauantrags wurde zum einen ein einfacher Gipsmodell-Renderstil angewendet, der lediglich die sichtbaren Flächen und Kanten abbildet und zum anderen der Renderworks-Renderstil Außenansicht ohne Umgebung. Zwei der drei Ansichtsbereiche wurden innerhalb der Einstellungen mit einem Bildeffekt versehen, der die Helligkeit und den Kontrast vergrößerte. Für die ausgewählten Perspektiven wurde in der Konstruktionsebene ein passender Ausschnitt gewählt und erneut über ein 2D-Rechteck in Ansichtsbereiche umgewandelt.

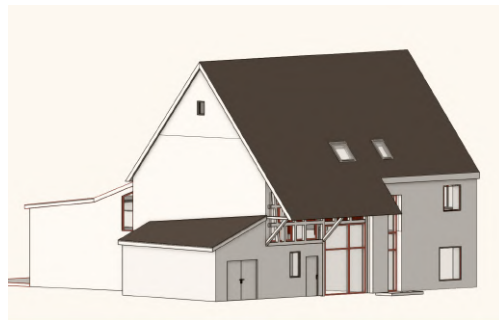


**Abbildung 5.40:** Aktivierte Kotten des Schnittes.

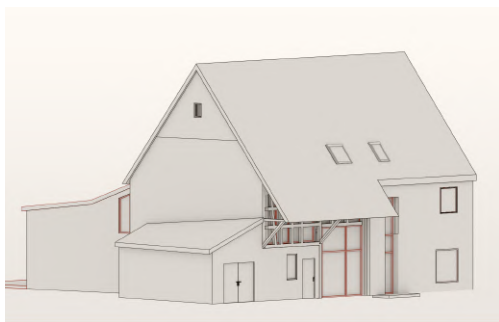
<sup>6</sup>s. Schnitte in Anhang A



(a)



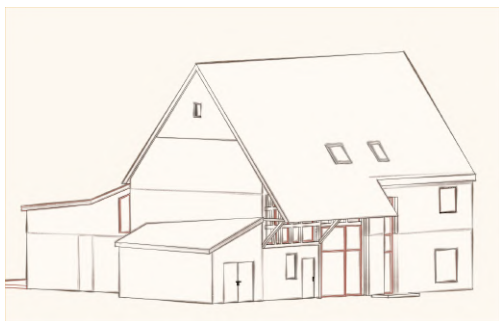
(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

**Abbildung 5.41:** Das 3D-Modell in verschiedenen Renderstilen abgebildet. **a** Renderworks Außenansicht ohne Umgebung. **b** Volumenmodell mit sichtbaren Kanten. **c** Gipsmodell mit sichtbaren Kanten. **d** Flächen und Kanten. **e** Malstil brauner dünner Pinsel. **f** Drahtmodell.

## 5. ENTWURF UND GENEHMIGUNGSPLANUNG



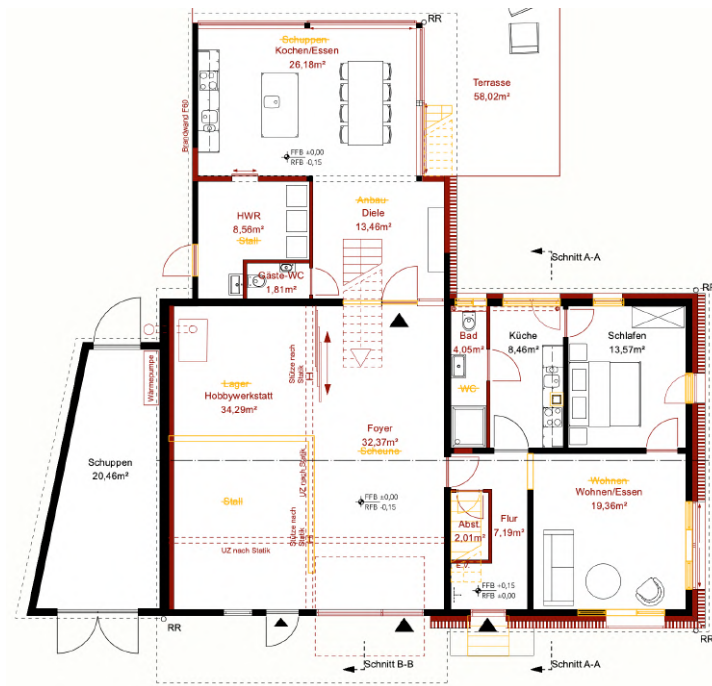
**Abbildung 5.42:** Reiter der Layoutebenen innerhalb der Organisation. Insgesamt wurden elf Layoutebenen erstellt, auf denen die Planableitungen platziert werden.

Das Modell wurde grundsätzlich in seiner Gesamtheit in 3D angefertigt, jedoch gibt es Bestandteile, die im Rahmen der Entwurfs- und Genehmigungsplanung noch nicht vollständig geplant sind und deshalb in 2D in den Ansichtsbereich gezeichnet wurden. Über einen Doppelklick auf die jeweilige Ansicht lassen sich Ergänzungen hinzufügen. Ebenfalls die Beschriftung der ehemaligen Funktion der Räume (gelb) wurde nachträglich hinzugefügt, da dies erheblich einfacher ist, als den Raumstempel dementsprechend anzupassen. Die zu entfernenden Wände, die Türen und die Fenster wurden in 2D ergänzt, da es sich bei der 3D-Komponente um intelligente Objekte handelt, die nicht an derselben Position in der Wand ineinander platziert werden können. Nur die Treppen, die abgebaut werden sollen, wurden direkt in das Modell als 2D-Komponente eingefügt, damit diese mit ihrem Steigungsverhältnis exakt und normgerecht sind. Der zu entfernende Kamin wurde zusätzlich mit dem Wand-Werkzeug gezeichnet, da dieser dadurch in allen Ansichten und Schnitten angezeigt wird, ohne diesen manuelle zeichnen zu müssen.

Die Abbildung 5.43 zeigt den Vergleich zwischen dem Grundriss des EG mit und ohne den 2D-Ergänzungen. Weitere Ergänzungen wurden in den Ansichten und den Schnitten vorgenommen, um unter anderem den Abbruch des Daches des Anbaus und den der alten Fenster zu visualisieren.



(a)



(b)

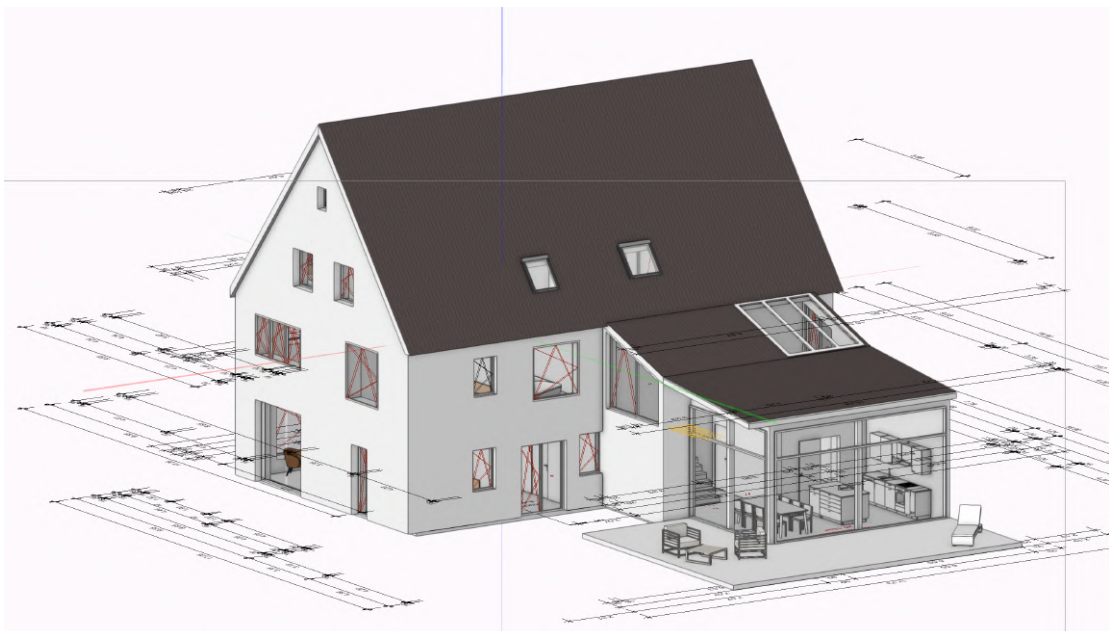
**Abbildung 5.43:** Mit Hilfe der 2D-Werkzeuge werden Informationen hinzugefügt, die nicht zwangsläufig in 3D modelliert werden müssen.

## 5.2 Erzeugter Plansatz

Um den Plansatz zu vervollständigen, wurde ein Kompass auf die Grundrisse mit der korrekten und an die Lage angepassten Ausrichtung als 2D-Ergänzung eingefügt und ein Plankopf erzeugt. Dieser wurde als 2D-Symbol aus dem Zubehör-Manager entnommen und auf das Bauvorhaben angepasst. Innerhalb eines weiteren Dialogfensters wurden der Name des Bauvorhabens, die Projektadresse, der Bauherr, der Name der Layoutebene und der Planverfasser eingetragen. Der Plankopf wird in der Regel rechtsbündig eingefügt und kann über einen Befehl an die Plangröße angepasst werden, ohne diesen manuell skalieren zu müssen. Ebenso wird dessen Inhalt über einen Mausklick auf alle anderen Planköpfe übertragen.

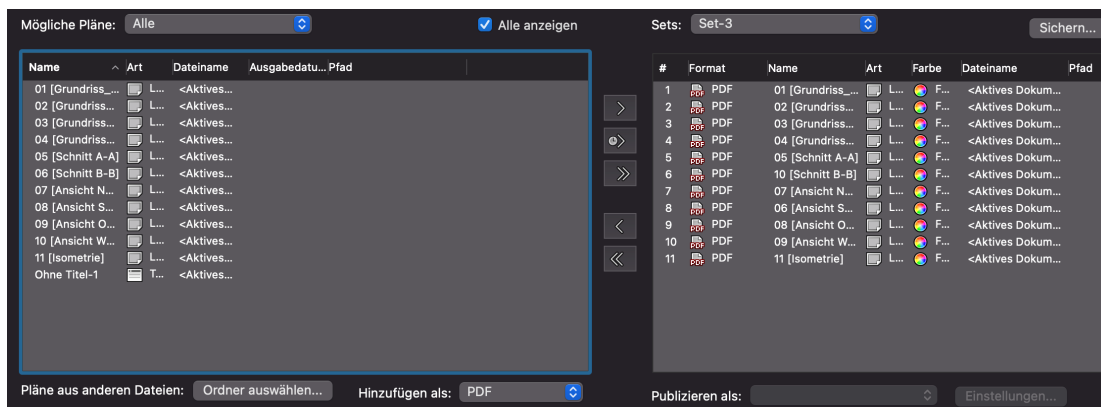
Nach Fertigstellen des 3D-Modells und dessen Layoutebenen wurde ein Plansatz erstellt. Die Abbildung 5.44 zeigt das Modell in der Zeichenebene mit allen sichtbaren Klassen. Dafür wurde über *Publizieren* ein weiteres Dialogfenster aufgerufen, über das die erzeugten Layoutebenen einem Set hinzugefügt werden konnten. Alle elf erstellten Ebenen wurden in das Set aufgenommen und über einen weiteren Mausklick in eine PDF-Datei umgewandelt. Dabei besteht die Möglichkeit, jede Seite einzeln in dem Format zu sichern, worauf allerdings verzichtet wurde. Die Auswahl der Layoutebenen ist auf Abbildung 5.45 abgebildet.

Der final erzeugte Plansatz des Baugesuchs ist in *Anhang A Bauantrag* zu finden. Die PDF-Datei wurde in fünffacher Ausführung in DIN-A3-Format gedruckt, nachdem eine Version von dem Bauherrn und dem Planer unterzeichnet und eingescannt wurden. Dieses Original und seine drei Kopien wurden gefaltet und in eine Mappe eingheftet, sodass diese dem Amt zur Genehmigungsprüfung übergeben werden konnten.



**Abbildung 5.44:** Fertiggestelltes 3D-CAD-Modell in der Zeichenebene mit allen sichtbaren Klassen.





**Abbildung 5.45:** Ausgewählte Layoutebenen (rechts), die dem Plan-Set hinzugefügt und anschließend in eine PDF-Datei umgewandelt wurden.



# Kapitel 6

## Ergebnisse der Workflow-Untersuchung

Dieses Kapitel befasst sich mit den Ergebnissen des vorausgegangenen Workflows und wertet diesen systematisch aus. Zu Beginn werden die Vor- und Nachteile des 3D-Workflows gegenüber dem in 2D aufgezeigt, um anschließend auf die Besonderheiten und Grenzen einzugehen. Als letztes werden weitere Möglichkeiten vorgestellt, die sich der Arbeit in dem dreidimensionalen Raum im Zuge der Digitalisierung und der daraus entstandenen BIM-Methode ergeben, damit einer umfassend digitalisierten Baubranche und einer gesteigerten Produktivität nichts mehr im Wege stehen kann.

### 6.1 Vor- und Nachteile

#### 6.1.1 Vorteile

Für die Arbeit in 3D sprechen insbesondere die vielen Vorteile gegenüber der Arbeit in 2D. Beginnend bei der interaktiven Arbeit in der Zeichenebene mit Befehlen und Konstruktionswerkzeugen, auf die der Nutzer eine direkte visuelle Antwort der Software erhält und diese in Echtzeit manipulieren kann, bauen diese Vorteile auf. Als entscheidender Aspekt, der sofort von diesem Vorgehen überzeugen sollte, steht die Erzeugung und Verwendung von Geschossen und ihren Referenzhöhenvergaben im Vordergrund. Durch diese zu Beginn grundlegende Festlegung der Höhen in Form von Referenzen auf beispielsweise die Kanten der Böden oder Decken arbeitet der Konstrukteur immer in einem durch Parameter festgelegten Rahmen, der im weiteren Verlauf das Risiko mindert, Fehler in der Planung der Raumhöhen oder Decken zu begehen. Durch die Referenzen werden die Wände, aber auch Decken/Böden und Treppen automatisch an einen Wert angepasst, der jederzeit bearbeitet oder in den Einstellungen des jeweiligen Elements durch einen anderen ersetzt werden kann. Somit rechnet der Computer den Unterschied aus und passt die Elemente nach Bearbeitung direkt an. Eine Manipulation des Modells ist demnach schnell und einfach zu lösen, ohne dabei Zeit für das Anwählen einzelner Komponenten aufzuwenden. Gerade diese Komponenten sind durch dementsprechende Werkzeuge bereits in ihrem Aussehen grundlegend

definiert, können jedoch ebenfalls durch ihre Parameter bearbeitet und angepasst werden. Somit lassen sich Architektur-Elemente aus intelligenten Objekten in einem Bruchteil der Zeit generieren, da der Computer die 3D-Komponenten aus den voreingestellten Parametern errechnet, modelliert und an die Restriktionen anpasst.

Vor allem diese konstruktiven Elemente wie Wände und Böden können nach ihrer Erstellung durchweg in ihrer Form, ihrer Darstellung und ihren Schichten manipuliert werden. Gerade diese Informationen gewinnen in der späteren Ausführungsplanung an Relevanz und können spätestens zu diesem Zeitpunkt konkretisiert werden. Somit verliert das 3D-Modell nach der Erzeugung des Plansatzes keineswegs an Bedeutung, sondern kann in seiner Darstellung angepasst und verfeinert werden, um weitere Plansätze zu generieren und Visualisierungen möglich zu machen.

Die Nutzung von Ebenen und Klassen sorgt für eine übersichtliche Arbeitsumgebung, bei der irrelevante Objekte oder Ebenen ausgeblendet werden können. Durch Klassenstile lassen sich ganze 3D-Objekte universell in ihrer Darstellung ändern und besitzen alle dieselben Einstellungen.

Durch 3D-Symbole besteht ein Konglomerat aus Stilen, Materialien, Texturen, Möbiliar und Sanitäreinrichtungen und vielem mehr. Dem Nutzer ist die Auswahl überlassen und es können spezifische Elemente von Herstellern direkt als 3D-Modell importiert werden und in die Planung aufgenommen werden. Diese Symbole lassen sich durch Anderweitige substituieren und sind somit einfach austauschbar.

Ein Großteil der Architektur-Objekte wie Böden und Dächer können aus einfachen 2D-Polygonen erstellt werden und der Nutzer gibt lediglich die entscheidenden Parameter, die deren Höhe und Schichten definieren ein.

Ebenfalls können Materialien verwendet werden, um der Visualisierung eine möglichst realistische Aussehen zu verleihen. Dadurch können insbesondere durch die Verwendung eines Glas-Materials Lichteinfall oder -wirkung visualisiert werden. Dieser Lichteinfall kann je nach Tageszeit durch die Simulation einer Sonne virtuell nachgestellt werden, sodass weiterführende Aussagen möglich sind. Mit Hilfe von Ansichtsbereichen kann ein Modell je nach Anforderung in verschiedenen Renderstilen abgebildet werden. Diese Planableitungen müssen nach Änderungen innerhalb der Konstruktionsebene nur noch aktualisiert werden und zeigen den aktuellen Stand des 3D-Modells, ohne dass redundante und sich wiederholende Maßnahmen in allen Layoutebenen erforderlich sind. Dies verhindert schwerwiegende Fehler der Planung, die eine Kostenüberschreitung mit sich ziehen und gegebenenfalls zur Beendigung des Vertragsverhältnisses führen kann. Außerdem besteht eine Fehlervermeidung durch die Kollisionsprüfung von Objekten. Vorallem für Treppenaufstiege unter Dachschrägen bietet sich dies an. In einem Schnitt können die Höhen oberhalb der Stufen kontrolliert werden, damit ein ungekrümmtes Aufsteigen der Treppe möglich ist.

Darüber hinaus kann das virtuelle Modell verwendet werden, um weitere Aussagen über die Baumaßnahme vorzunehmen. Die bereits angesprochene Kostenschätzung und Kostenberechnung im Rahmen der Vor- und Entwurfsplanung können zumindest teilweise durch die Hilfe dessen angefertigt werden. Da alle Daten des 3D-Modells in einer Datenbank hinterlegt sind, können diese in Form von Tabellen ausgegeben werden oder direkt aus der Konstruktionsebene abgelesen werden. Dabei können beispielsweise die Flächen der Wände, der Wandöffnungen und der Böden/Decken pro Geschoss tabellarisch ausgewertet werden

und außerhalb der CAD-Software mit Preisen versehen werden, sodass eine Kostenaufstellung zu jeder Zeit möglich ist. Hierdurch entsteht eine Einsparung der Berechnungszeit, die das System dank der Verknüpfung der intelligenten 3D-Objekte mit den Referenzen übernimmt. Auch über die Energieeffizienz lassen sich Aussagen treffen, wenn diese den intelligenten Objekten zuvor zugeteilt worden ist.

Aus dieser Aufzählung von Vorteilen punktet die 3D-Modellgenerierung mit einer erheblichen Zeitersparnis, die aus der Verwendung von Geschossen mit ihren Referenzen, intelligenten Objekten und Symbolen sowie Planableitungen folgt. Ebenfalls besteht eine erhöhte Fehlervermeidung, da zum einen die geplanten Gegebenheiten durch Kollisionsprüfungen getestet werden können und zum anderen intelligente Objekte bei der Erzeugung von korrekten und norm-konformen Instanzen helfen.

### 6.1.2 Nachteile

Die wenigen Nachteile, die mit der dreidimensionalen Modellbildung einhergehen, sind nicht außer Acht zu lassen. Durch die Aufteilung auf verschiedene Konstruktionsebenen und die Verbindung zu den dementsprechenden Geschossen können intelligente Objekte wie Wandöffnungen lediglich in eine intelligente Wand eingesetzt werden. Da es jedoch Elemente gibt, die sich durchaus über mehrere Geschosse erstrecken, wie der Pfosten-Riegel-Konstruktion oder hohen Fenstern/Türen mit Oberlicht, besteht in der CAD-Software keine geeignete Lösung. Zum einen muss in der Wand über jener, in der die Öffnung eingesetzt wurde eine Wandöffnung erstellt werden, die die Höhe des Teils der Öffnung in diesem Geschoss hat und zum anderen müssen in den Grundrissen alle darunterliegenden Ebenen sichtbar sein. Ist dies nicht der Fall und die darunterliegende Ebene wird unsichtbar geschaltet, so ist auch das Öffnungselement nicht mehr sichtbar und in dem oberen Geschoss besteht eine leere Wandöffnung. Ebenso entsteht ein Konflikt bei Bestandsmodellen, wenn Wandöffnungen, die entfernt werden, und solche, die neu konstruiert werden, sich überlagern. Für das Bauamt sind diese Informationen relevant, jedoch kann dies nicht ohne weiteres modelliert werden. Da derartige intelligenten Objekte nur an einer Position in der Wand gesetzt werden können, müssen zu entnehmende Elemente von Hand in allen Ansichtsbereichen in 2D gezeichnet werden. Dies kostet Zeit, da die exakte Position beispielsweise ausgehend von der Außenkante des Gebäudes oder einer anderen Orientierung ermittelt werden muss und die Wandöffnung nicht in allen Modellinstanzen automatisch dargestellt wird.

Des Weiteren ergibt sich eine längere Einarbeitungszeit in die 3D-Werkzeuge und Modelliermethoden, sodass in einem Architekturbüro zuerst einmal Kosten für die Schulung der Mitarbeiter und die Hardware entstehen. Dies ist in jedem Fall zu berücksichtigen, da es bei entsprechend schwacher Rechnerleistung unter Umständen zu langen Lade- und Renderzeiten kommen kann.

Darüber hinaus äußert Fischer als Kritik, dass die „(...) Computersoftware lediglich mathematisch oder logisch basierte Formen erzeugen [kann], diese allerdings in so überwältigender Variationsbreite, daß letztlich die Entwurfsaufgabe auf eine Auswahlvorgabe reduziert wird“ [Fis18, S. 151]. Allerdings lässt sich diese Aussage beschwichtigen, hat Fischer bezüglich der Möblierung und der Sanitäreinrichtungen definitiv Recht, so besteht bezüglich der Konstruktion des gesamten Gebäudes ein hoher Grad an architektonischem Fachwissen

und der Konstrukteur leistet einen großen Eigenanteil, den der Computer nicht ohne einen Mensch hinter der Befehlseingabe kreieren könnte, da eben von diesem auch abhängig ist, wie ein Gebäude geplant werden soll<sup>1</sup>.

Zudem wird einer abstrakten 2D-Zeichnung dennoch ein hoher Stellenwert zugeschrieben, denn in den frühen Abschnitten eines Projekts, die besonders entwurfs- und änderungsintensiv sind, ist es von Vorteil, wenige und vor allem einfache Datensätze zu haben, die keine parametrisch-algorithmische Denkweise voraussetzen. Gerade wenn ein Modell weitergehend mit BIM verwaltet werden soll, ist es schwer, eine Kohärenz der Projektdaten zu schaffen und diese allen Beteiligten jahrelang zur Verfügung zu stellen. Dadurch entsteht derzeit ein hoher Aufwand, der nicht effizient erscheint [Gä20, S. 310]. Es entstehen grundsätzlich Mehrkosten für die Schulung der Mitarbeiter in den zu verwendenden Programmen und der Nutzen tritt vermehrt in den späteren Planungsphasen ein. Dieser Aufwand, den die Nutzung von BIM mit sich bringt, rentiert sich aktuell nur für große Architektur- oder Planungsbüros, die die benötigten Spezialisten beschäftigen können [Gä20, S. 312].

### 6.2 Besonderheiten und Grenzen

Die Besonderheiten der 3D-CAD-Modellierung wurden bereits in den Vorteilen angesprochen. Besonders hervorzuheben ist die Arbeit mit Geschossen und Referenzen, die explizit auf die Architektur-Modellerzeugung ausgerichtet ist. Durch intelligente Architektur-Elemente, die besonders durch die Parametrisierung gesteuert werden, kann eine Vielzahl von Instanzen generiert werden. Auch durch 2D-/3D-Symbole, die über ihre Parameter verändert werden, besteht eine hohe Varianz in der Ausgestaltung eines Modells. Jegliche 3D-Objekte haben immer eine 2D-Darstellung, die ebenfalls bearbeitet werden kann. Das 3D-CAD verbindet somit 2D-Werkzeuge mit denen des 3D und sorgt für einen einfachen Einstieg für 2D-Konstrukteure und Entwerfende, die ihr bisheriges Wissen anwenden können. Dem Planer sind kaum Grenzen gesetzt, denn viele Möglichkeiten und verschiedene Befehle/Werkzeuge führen zu demselben Ziel. Besonders zu beachten ist, dass hierdurch nicht nur eine vereinfachte und schnellere Umsetzung der tradierten Vorgehensweisen zur Planerzeugung stattfindet, sondern diese auch durch umfassendere Möglichkeiten und Werkzeuge erweitert wird. Die Kombination aus dem Zeichnen und Entwerfen mit dem Rendern und Präsentieren macht eine CAD-Software zu einem bedeutenden Mittel in der Architektur, die nicht mehr wegzudenken ist.

Grenzen sind der 3D-Modellierung kaum gesetzt, sieht man von der umständlichen Lösung der Darstellung von zu entfernenden Elementen (z.B. Wandöffnungen) innerhalb der Planableitungen des Baugenehmigungsgesuchs und dem Einsetzen von intelligenten Objekten in nur ein Geschoss ab. Durch die BIM-fähigen Programme wird die 3D-Modellierung zwangsläufig der Standard in den Architekturbüros werden und die Anwendung von BIM auf neue und bestehende Projekte wird sich ihren Weg langfristig bahnen.

---

<sup>1</sup>vgl. [Neu15]

## 6.3 Möglichkeiten

Durch den Einsatz von 3D-CAD-Modellen bieten sich der Architektur vielfältige Möglichkeiten im Rahmen des Computer Aided Design und darüber hinaus. Wie bereits in den Grundlagen angedeutet wurde, beschreibt ein Modell durch die Ergänzung von Informationen ein Bauwerk umfassend oder größtenteils vollständig. Gerade durch das Arbeiten mit Geschossen fällt ein Umstieg von bereits bestehenden digitalen Projekten auf BIM nicht schwer, für das ein Modell die Grundlage bildet. Basierend auf dieser Grundlage lässt sich das Modell weitergehend verfeinern und mit der Zeit- (4D), Kosten- (5D) und Energieeffizienz-ebene (6D) verbinden. Dadurch kann das Gebäude während seines gesamten Lebenszyklus in den Kosten und seiner Umweltbelastung gering gehalten oder gesenkt werden und zudem allumfassend verwaltet werden<sup>2</sup>. Aber nicht nur für bestehende Projekte bietet sich dieser Umstieg an. Gerade für Neubauprojekte größeren Umfangs können von Beginn an bereits in der Entwurfsplanung Kosten eingespart werden, da alle relevanten Daten digital bestehen, aktualisiert werden und demnach den Beteiligten transparent zu jeder Zeit zur Verfügung stehen. Außerdem können die geplanten Maßnahmen und Fortschritte an der Baustelle jedem Beteiligten, einschließlich den Behörden, visualisiert werden und eine erweiterte Analyse zur Kontrolle der Arbeit und der Produktivität ist jederzeit möglich [MC17, S. 9]. Durch dieses modellbasierte, kooperative und effiziente Vorgehen werden „Planungsfehler, Risiken, unerwartete Kostensteigerungen, gestörte Bauabläufe und unnötig hohe Betriebskosten (...)“ der Vergangenheit angehören [Inf15, S. 7]. Die Umwelt kann hierdurch geschont werden, da eine Baustelle nicht länger als nötig bestehen muss.

## 6.4 Einsatzszenarien

Obwohl ausreichend Gründe genannt wurden, die die 3D-Modellierungswerkzeuge und -methoden in der CAD-Software hervorheben, darf nicht vergessen werden, dass dies immer eine Frage der Anwendung ist. Nicht immer bietet sich die reine 3D-Modellierung an. Zum einen ist 2D exzellent für Entwürfe geeignet, die auf die Schnelle entstehen und vor der Umsetzung in 3D abgeklärt werden müssen. Dabei wird vermehrt auf die manuelle Anfertigung mit Stift und Papier bei Besprechungen gesetzt<sup>3</sup>. Ebenfalls für vereinfachte Darstellungen, die beispielsweise dem Bauherrn nahegebracht werden sollen, bietet 2D eine solide und schnelle Alternative. Denn nicht jeder Mensch hat ein ausgeprägtes räumliches Darstellungsvermögen und Zeichnungen in 2D übersetzen komplexe 3D-Modelle in eine simplere Darstellung, sodass Schlüsselinformationen wie beispielsweise die Bemaßung prägnant abgebildet werden können und für relevante Entscheidungen hinzugezogen werden können<sup>4</sup>. Wie bereits im Zuge des Workflows in Kapitel 5 erläutert wurde, kann ein Ansichtsbereich sehr wohl mit 2D-Objekten ergänzt werden. Gerade für die Genehmigungsplanung ist entscheidend, der Behörde zu veranschaulichen, welche Elemente neu und welche entfernt werden.

<sup>2</sup> <https://mep.trimble.com/de/resources/blogs/bim-pioniere-was-wir-von-den-niederlanden-lernen-können-interview>. Abgerufen am 30.06.2022

<sup>3</sup> W. Bühler, persönliche Kommunikation, 01.06.2022.

<sup>4</sup> <https://blogs.solidworks.com/solidworksdeutschland/2021/07/warum-2d-cad-nach-wie-vor-wichtig-ist.html>. Abgerufen am 30.06.2022.

Um sich nicht mit sich überlagernden intelligenten 3D-Objekten quälen zu müssen, bietet die Alternative in 2D eine einfache Lösung. Für die spätere Ausführungsplanung sind diese Informationen nicht mehr relevant und haben daher nur eine kurze Daseinsberechtigung. Auch für Detailzeichnungen im Rahmen der Ausführungsplanung bietet 2D eine schnelle Umsetzung des spezifischen Aussehens eines Details. Würden diese in 3D angefertigt werden, müssten viele störende Elemente in dem jeweiligen Ansichtsbereich über ihre Klassenzugehörigkeit unsichtbar gestellt werden, sodass dies die Arbeit unnötig in die Länge zieht.

Jedoch bietet 3D ein größeres Anwendungsfeld als 2D. Durch die Umsetzung eines Modells in 3D entsteht eine immense Zeitersparnis, da durch diverse Planableitungen ein unschlagbarer Vorteil entsteht. Ein Modell kann dadurch in verschiedenen Renderstilen in Szene gesetzt werden und somit in hoher Realitätsgetreue dargestellt werden. Die Verwendung von Materialien ermöglicht die Simulation von Lichteinfall und Aussagen über die Energieeffizienz. Die Vorteile von 3D überwiegen deutlich und 2D sollte lediglich für oben genannte Fälle eingesetzt werden, die sich auf den Vorentwurf und die Ergänzungen in der Genehmigungsplanung beschränken. Wird ein Gebäude über mehrere Phasen von einem Planer betreut, bietet sich die Umsetzung in 3D an, damit weiterführende Leistungs- und Lebensphasen dessen umfassend bearbeitet werden können.



## Kapitel 7

# Zusammenfassung und Ausblick

### 7.1 Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich nun sagen, dass die Arbeit in 3D eine große Zeitersparnis durch die Verwendung von intelligenten Architektur-3D-Objekten, 3D-Symbolen und Modellinstanzen hervorbringt. Diese Zeit ist immer auch gleichzusetzen mit Kosten und diese sollen durchweg gering gehalten werden, um keine Budgetüberschreitungen, die nicht Teil des Architektenvertrages sind, zu riskieren. Denn in solchen Fällen droht die Beendigung eines Vertragsverhältnisses. Denn gerade durch Fehler in der Planung können diese Kosten schnell in die Höhe getrieben werden und im Verlauf der weiteren Zusammenarbeit kaum wieder ausgeglichen werden. Durch 3D-Modelle besteht eine gewisse Fehlerkontrolle zum einen durch Objekte, die sich nur innerhalb eines zu Beginn gesetzten Rahmens verändern können und zum anderen durch die Kollisionsdetektion von Elementen, die durch den Planer selbst durchgeführt werden kann. Zum anderen werden Planungsfehler durch Ableitungen des Modells in Form von Instanzen vermieden. Neben den zu berücksichtigenden Kosten für die Schulung der Mitarbeiter, der Software und Hardware ist die 3D-Architekturmodellgenerierung eine optimale Lösung für Neubau- und Bestandsprojekte, wobei solche des Bestands durch 2D-Ergänzungen vollständig beschrieben werden und somit am besten aus einer Verbindung von 3D und 2D generiert werden. Somit können wichtige Informationen bezüglich Neu und Alt von den Ämtern auf einen Blick aus dem Plan entnommen werden. Deshalb ist das Einsatzszenario von enormer Bedeutung, da dieses über das weitere Vorgehen entscheidet. Jedoch bietet es sich an, bei großen Projekten die BIM-Methode in Erwägung zu ziehen, um mögliches Potential nicht zu verschenken.

Zusammenfassend muss demnach festgehalten werden, dass einige der im Zuge des methodischen Teils der Arbeit ausgearbeiteten Ergebnisse bereits vor der Jahrtausendwende publiziert wurden. Allerdings war der technische Fortschritt noch nicht so weit, wie er es heute ist. Daher bestand Bedarf an einer aktuellen Auswertung der Arbeit in 3D, die demnach unter anderem in einer Bestätigung der früheren Erkenntnisse mündet. Hinzu kommt die neue Arbeitsmethode BIM, die der deutschen Bauindustrie eine große Möglichkeit bietet, in Zukunft alle Projekte digital zu bearbeiten und diese anschließend BIM-konform zu verwalten. Gerade diese Zusammenarbeit und erhöhte Kommunikation der am Bau Beteiligten

ist zwangsläufig wichtig, um erfolgreiche und effiziente Projekte voranzutreiben und schließlich fertigzustellen. Die 3D-CAD-Modellerstellung ist die Grundlage und somit der richtige Weg in eine zukunftsorientierte Baubranche, auf der aufgebaut werden kann und sollte. Angesprochene Schwierigkeiten halten sich in Grenzen und können mit Sicherheit schnell beseitigt werden, sodass eine CAD-Software noch effektiver genutzt werden kann. Denn gerade hier liegt ein entscheidender Schwachpunkt: Das Fachwissen der Konstrukteure über die vorliegende Software. Ohne eine sinnvolle und umfassende Schulung von Architekten und Planern, die bereits in der Ausbildung angesetzt werden sollte, können die Systeme nicht maximal ausgeschöpft werden und ein Großteil des Potentials geht verloren [Prz17, S. 9]. Hier sollte nachgeholfen werden, sodass die Zukunft mehr kompetente Fachleute bereit hält, die die Methoden umsetzen können. Denn wird 3D lediglich dafür verwendet, einen 2D-Plansatz für einen Baugenehmigungsantrag zu erstellen, wie es im Rahmen der praktischen Ausarbeitung der Fall war, so erfolgt gewiss nur eine Verlagerung des traditionellen Vorgehens auf den Computer, der das Entwerfen und Konstruieren unterstützt und vereinfacht, wie es bereits vor der Jahrtausendwende der Fall war. Demnach wäre man über 30 Jahre später nicht viel weiter vorangekommen, lässt man die vielen genannten Vorteile für einen kurzen Moment außer Acht. Die Digitalisierung und die Erweiterung der reinen 3D-Modellierung zur BIM-Methode bedeutet „(...) nicht nur einen technologischen, sondern auch einen kulturellen Wandel“ [Boh20, S. 23]. Es ist daher unabdingbar, dass Architekturschaffende sich die Digitalisierung zu Nutze machen, anstatt von ihr bestimmt zu werden [HB20, S. 16]. Abschließend lässt sich somit also festhalten, dass die Arbeit in 3D in der Verbindung mit einer Geschossstruktur definitiv in den Architektur- und Planungsbüros aus genannten Gründen als gängige Praxis verwendet werden sollte, so dass auch ein späterer Umstieg auf die BIM-Methode jederzeit möglich ist. Vornehmlich für Neubau-Projekte, die ein höheres Maß an Entwurfs- und Planungsaufgaben beinhalten, bei denen eine Vielzahl an Beteiligten kommunizieren muss. Die tradierte Vorgehensweise der Modell- und Planerzeugung wird beschleunigt und Fehlerpotenzial wird größtenteils eliminiert. Für Bestandsprojekte sollte ebenfalls auf eine 3D-Modellierung insistiert werden, die jedoch durch die Kombination mit 2D-Elementen ergänzt wird.

### 7.2 Ausblick

Darüber hinaus stellt sich die Frage, in wie weit den Bestand betreffende Projekte und neue Bauvorhaben in Zukunft digital und automatisiert geplant werden können. Durch digitale 3D-Laserscan-Verfahren besteht bereits die Möglichkeit, bestehende Gebäude als Punktwolken zu erfassen. Diese dann innerhalb einer CAD- und BIM-fähigen Software auszuwerten und mit intelligenten Objekten zu versehen, könnte das Thema einer weiterführenden und ausführlichen Ausarbeitung sein. Insbesondere wie komplex die Arbeit mit BIM und das Bereitstellen der Informationen tatsächlich ist, könnte näher untersucht werden. Gewiss gibt es hierfür bereits Publikationen, jedoch handelt es sich dabei um große Architekturbüros und dementsprechend aufwendige Projekte, bei der eine Vielzahl an unterschiedlichen Beteiligten miteinander arbeiten müssen. Zudem handelt es sich bei den untersuchten Projekten generell um Neubau-Projekte [Prz17, S. 6-8]. Dass sich BIM hier durchaus gut anwenden

lässt und durch die Einbeziehung von externen BIM-Managern, die den Planern beratend zur Seite stehen, viele Vorteile bringt, steht außer Frage. Jedoch wäre es wissenswert, inwieweit sich die BIM-Methode für kleine Projekte und Bestandsprojekte rentiert und ob der Einsatz überhaupt effizient wäre. Vielleicht bietet sich hier die gängige Vorgehensweise mit einem Architektur-3D-Modell und 2D-Ergänzungen doch an und ist für Bestandsprojekte und solche in einem überschaubaren Rahmen zu empfehlen. Auch dieser Ansatz könnte in einer weiteren Arbeit in Form eines Vergleichs ausgearbeitet werden.

In jedem Falle wird es spannend bleiben, die weiteren Veränderungen in der Architektur und der Baubranche zu beobachten, die sich durch den zunehmenden Einsatz digitaler Werkzeuge ergeben werden.



## **Anhang A**

# **Bauantrag**

Bei der zuständigen Behörde eingereichtes Baugesuch zur Genehmigung der Nutzungsänderung und des darin eingeschlossenen Umbaus und der Modernisierung des Bauernhauses im Landkreis Tübingen. Die Angaben des Bauherrn und der Projektadresse wurde aus datenschutzrechtlichen Gründen entfernt und verändert.

# BAUANTRAG

Projekt:

Umbau eines bestehenden  
Wohnhauses mit Scheune,  
Musterstraße XX  
XXXXX Musterstadt

Bauherr:

Proj.-Nr.:

19-12/16

Datum:

11.05.2022

Plan.-Nr.:

01

Maßstab:

1:100

Stufe:

BA

Bearbeiter:

wob

Planimhalt:

## Grundriss\_EG

Planung:

**Bühler + Partner**  
Dipl. Ing. FH Wolfgang Bühler  
Dipl. Ing. FH Jochen Schneider

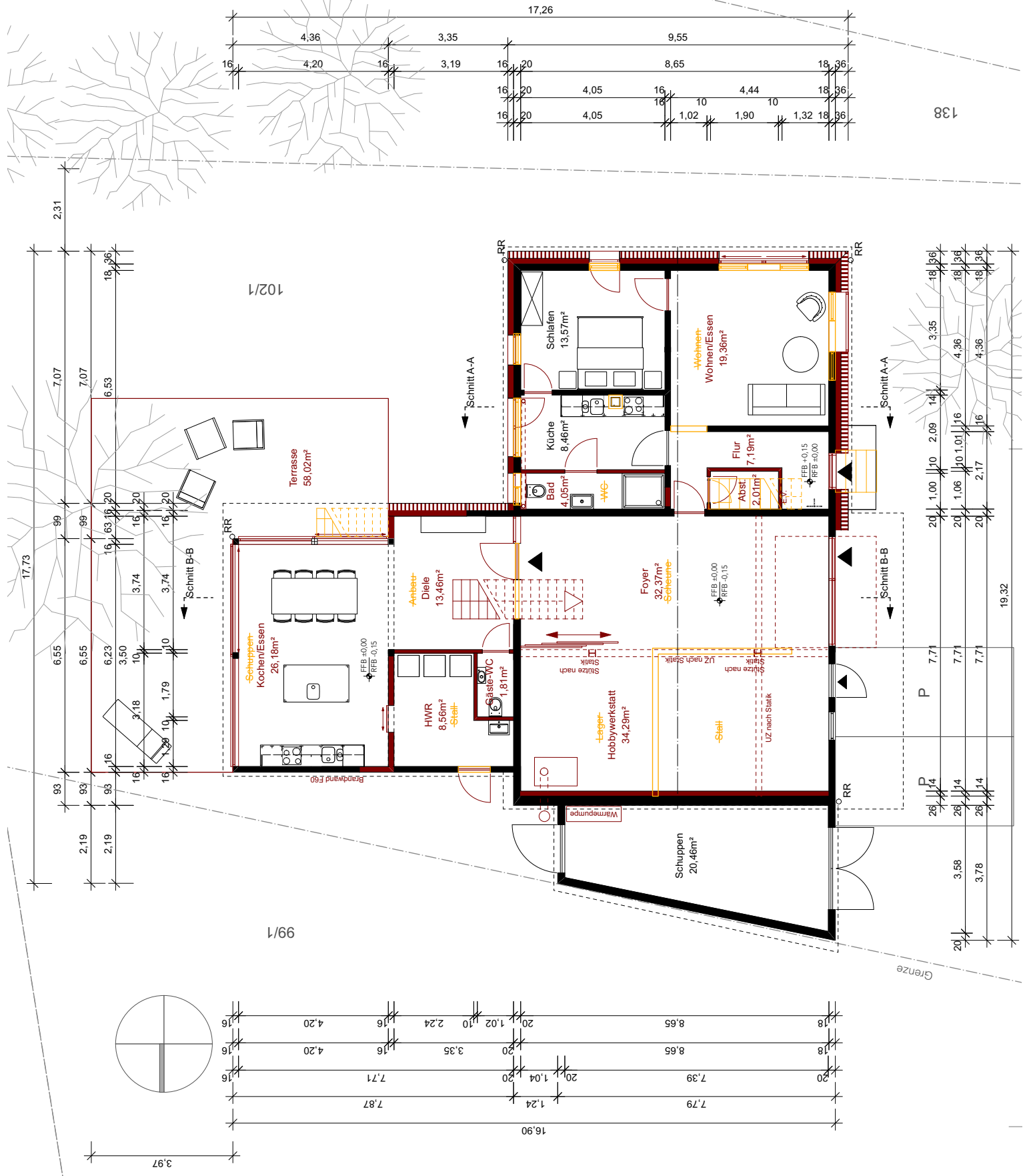
**Neckarhalde 6**  
72070 Tübingen

Tel: 07071- 859 7 259  
info@buehlerundpartner.de

Tübingen,

Planverfasser:

HEG 3D.vwk



# BAUANTRAG

Projekt:

Umbau eines bestehenden  
Wohnhauses mit Scheune,  
Musterstraße XX  
XXXXX Musterstadt

Bauherr:

Proj.-Nr.:

19-12/16

Datum:

11.05.2022

Plan.-Nr.:

02

Maßstab:

1:100

Stufe:

BA

Bearbeiter:

wob

Planinhalt:

## Grundriss\_OG

Planung:

**Bühler + Partner**  
Dipl.-Ing. FH Wolfgang Bühler  
Dipl.-Ing. FH Jochen Schneider

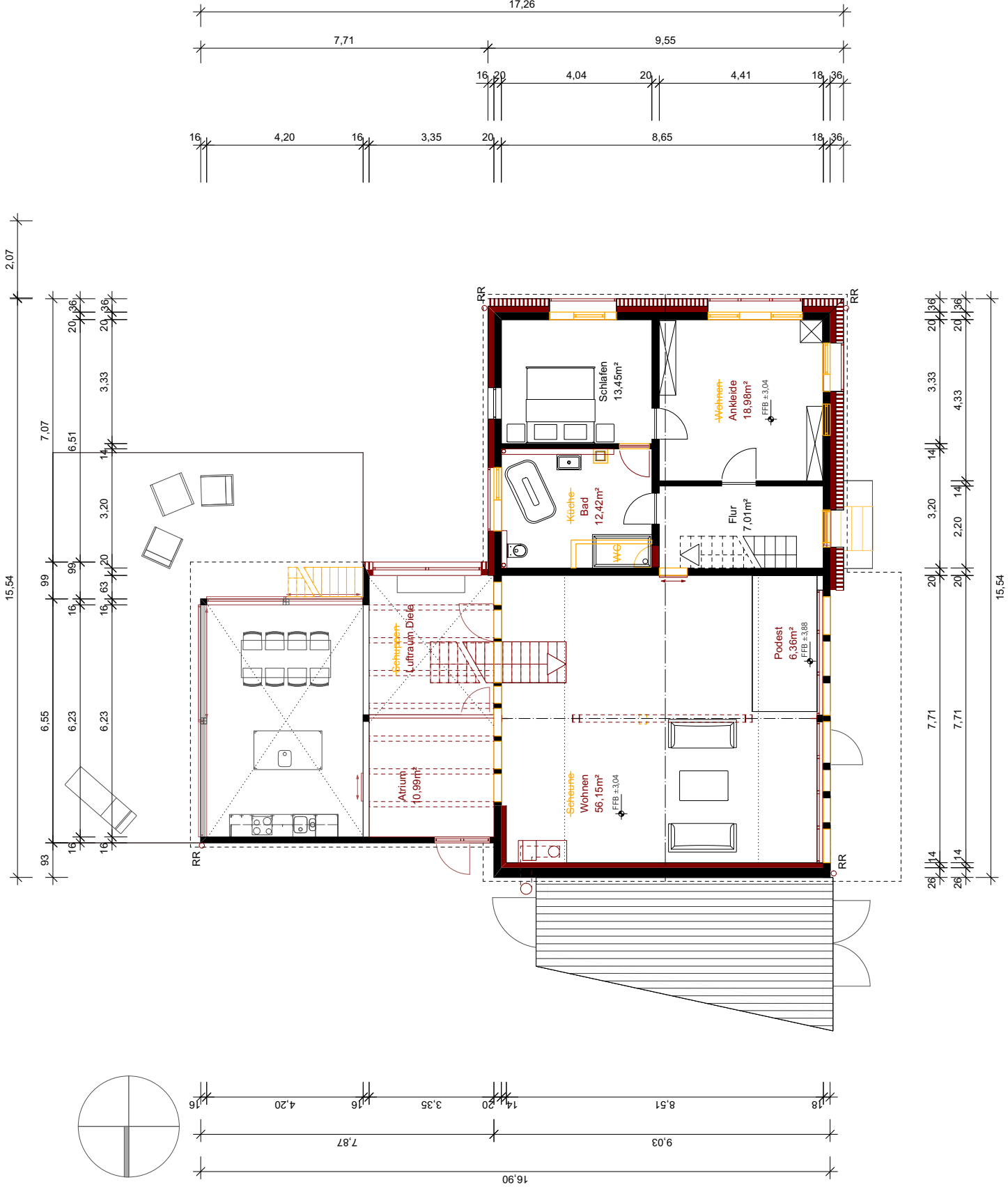
**Neckarhalde 6**  
72070 Tübingen

Tel.: 07071-859 7 259  
info@buehlerundpartner.de

Tübingen,

Planverfasser:

HEG 3D.WKX



# BAUANTRAG

Projekt:

Umbau eines bestehenden  
Wohnhauses mit Scheune,  
Musterstraße XX  
XXXXX Musterstadt

Bauherr:

Proj.-Nr.:

19-12/16

Datum:

11.05.2022

Plan-Nr.:

03

Maßstab:

1:100

Stufe:

BA

Bearbeiter:

wob

Planimhalt:

## Grundriss\_DG

Planung:

**Bühler + Partner**  
Dipl. Ing. FH Wolfgang Bühler  
Dipl. Ing. FH Jochen Schneider

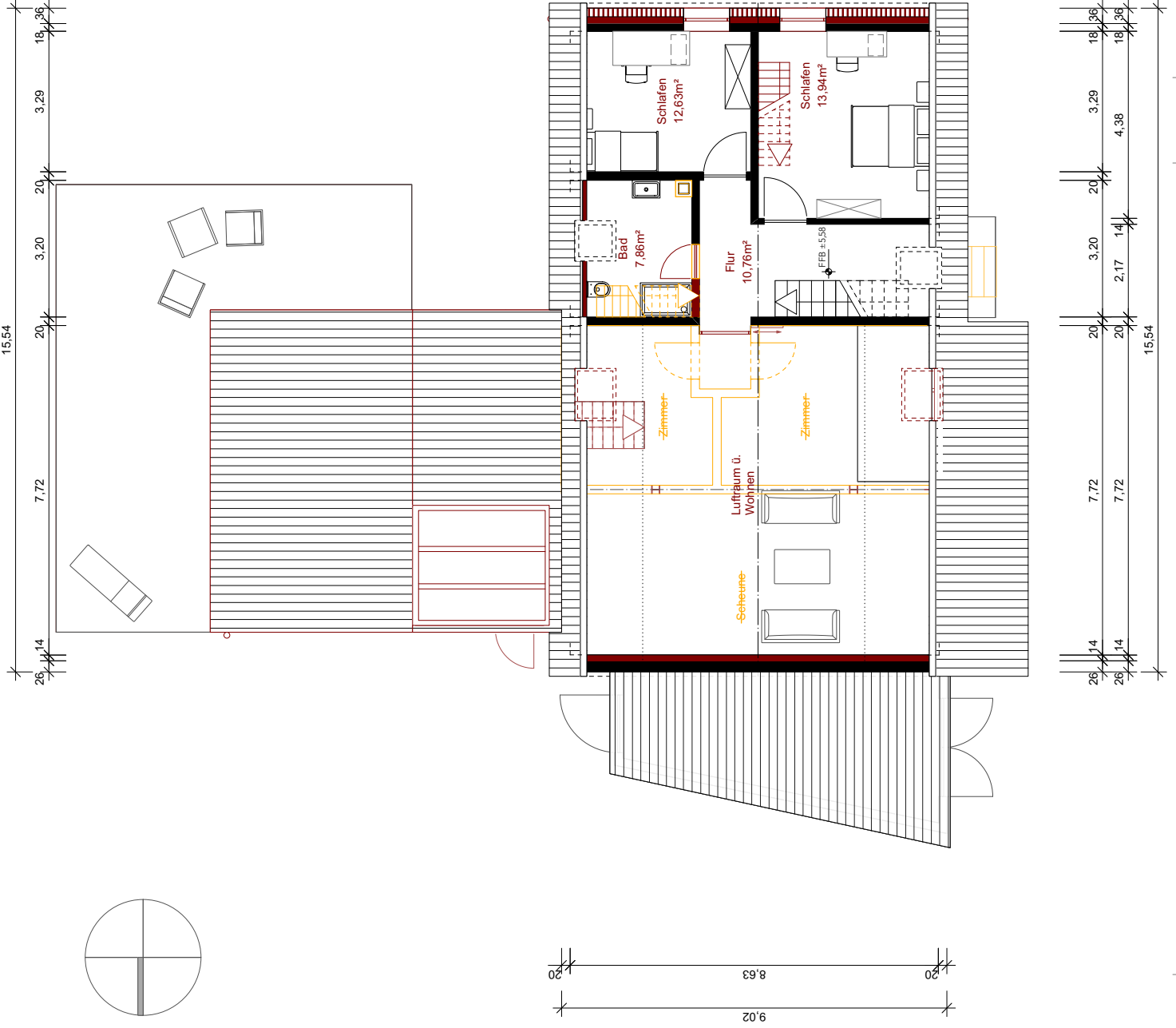
**Neckarhalde 6**  
72070 Tübingen

Tel: 07071-859 7 259  
info@buehlerundpartner.de

Tübingen,

Planverfasser:

HEG 3D.WKX





# BAUANTRAG

Projekt:

Umbau eines bestehenden  
Wohnhauses mit Scheune,  
Musterstraße XX  
XXXXX Musterstadt

Bauherr:

Proj.-Nr.:

19-12-16

Datum:

11.05.2022

Plan.-Nr.:

04

Maßstab:

1:100

Stufe:

BA

Bearbeiter:

wob

Planimhalt:

## Grundriss\_Bühne

Planung:

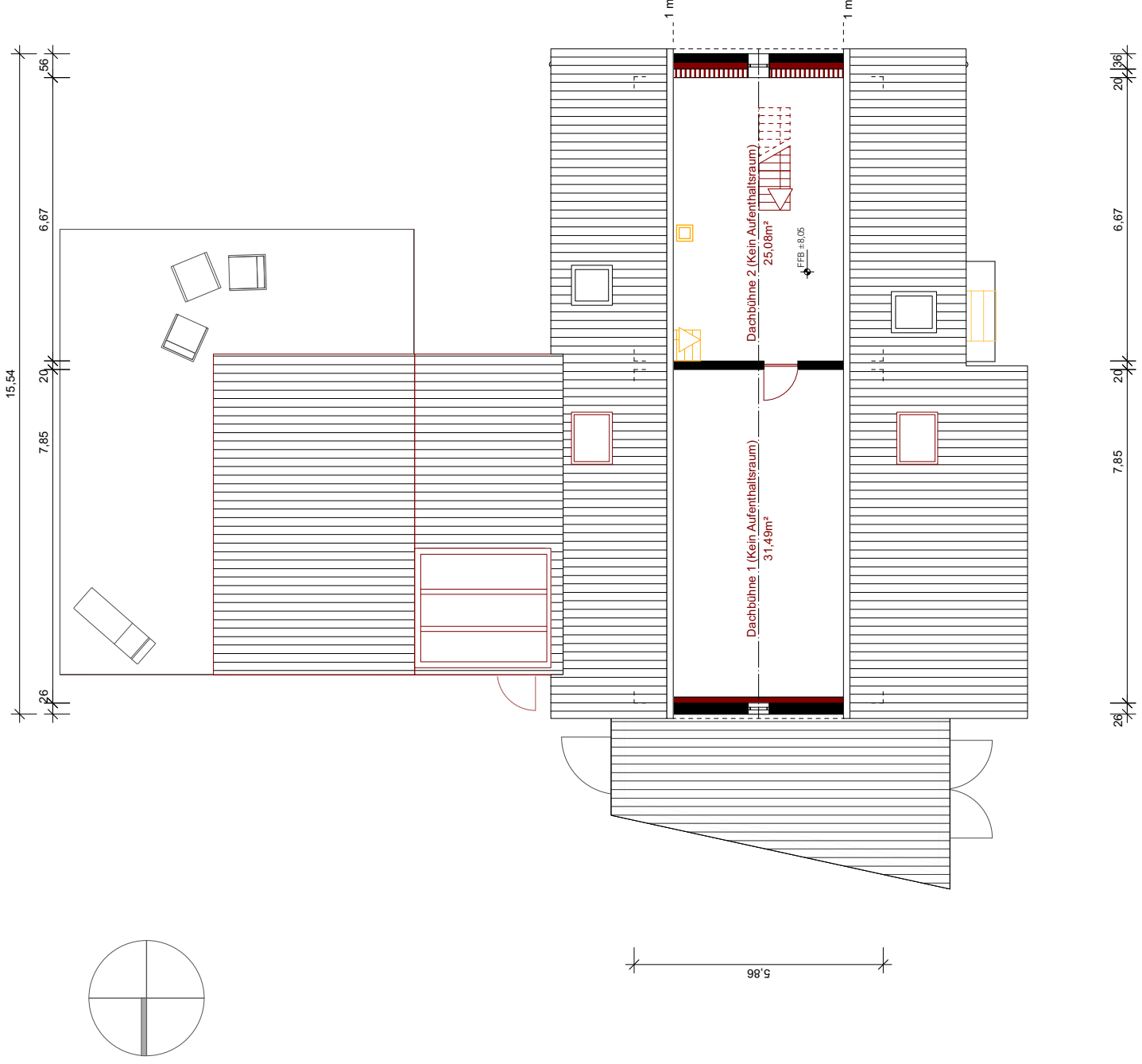
**Bühler + Partner**  
Dipl. Ing. FH Wolfgang Bühler  
Dipl. Ing. FH Jochen Schneider

**Neckarhalde 6**  
72070 Tübingen

Tel: 07071-859 7 259  
info@buehlerundpartner.de

Tübingen,

Planverfasser:



# BAUANTRAG

Projekt:

Umbau eines bestehenden  
Wohnhauses mit Scheune,  
Musterstraße XX  
XXXXX Musterstadt

Bauherr:

Proj.-Nr.:

19-12/16

Datum:

11.05.2022

Plan.-Nr.:

05

Maßstab:

1:100

Stufe:

BA

Bearbeiter:

wob

Planimhalt:

## Schnitt A-A

Planung:

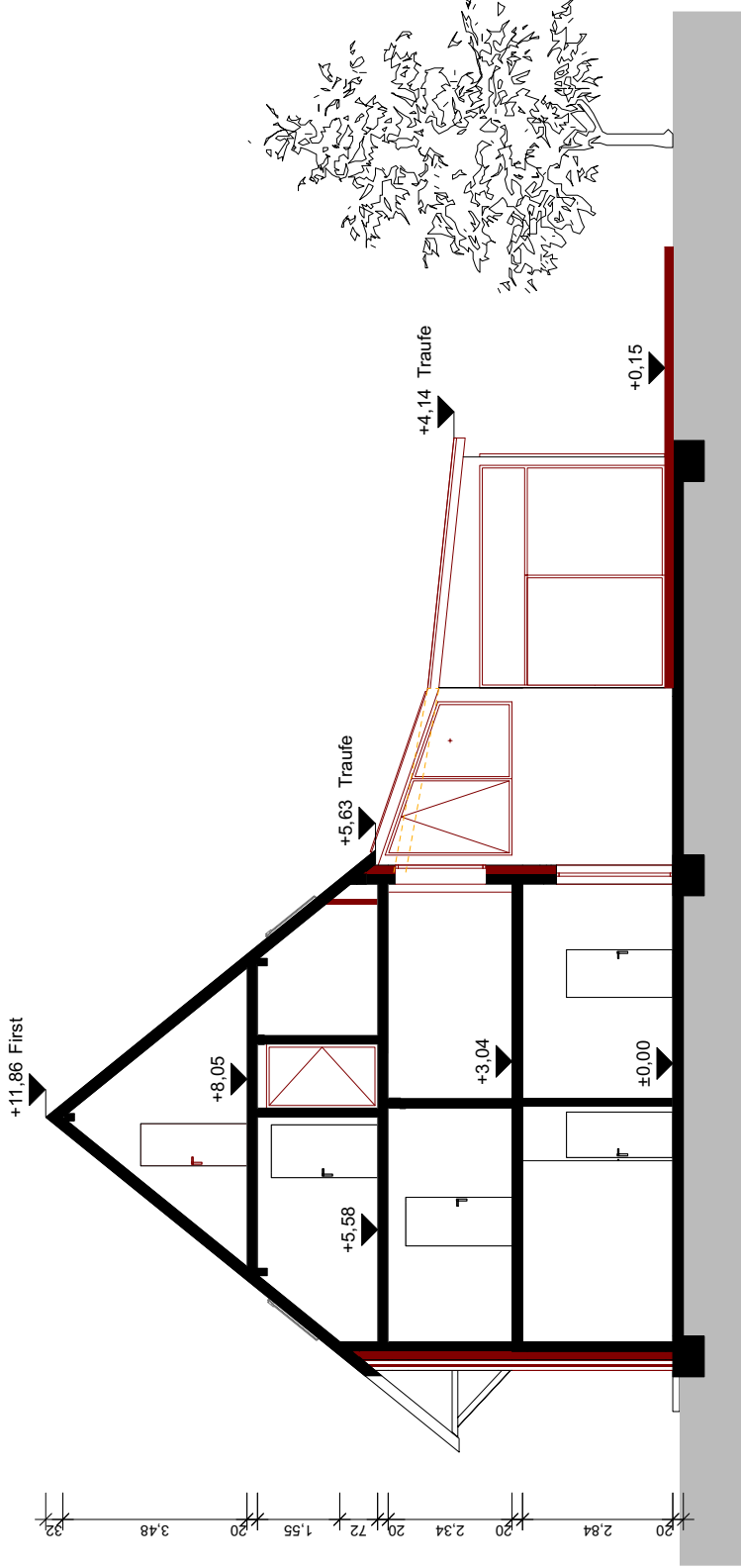
**Bühler + Partner**  
Dipl. Ing. FH Wolfgang Bühler  
Dipl. Ing. FH Jochen Schneider

Neckarhalde 6  
72070 Tübingen

Tel: 07071 - 859 7 259  
info@buehlerundpartner.de

Tübingen,

Planverfasser:



# BAUANTRAG

Projekt:

Umbau eines bestehenden  
Wohnhauses mit Scheune,  
Musterstraße XX  
XXXXX Musterstadt

Bauherr:

Proj.-Nr.:

19-12-16

Datum:

11.05.2022

Plan.-Nr.:

06

Maßstab:

1:100

Stufe:

BA

Bearbeiter:

wob

Planimhalt:

## Schnitt B-B

Planung:

**Bühler + Partner**  
Dipl.-Ing. FH Wolfgang Bühler  
Dipl.-Ing. FH Jochen Schneider

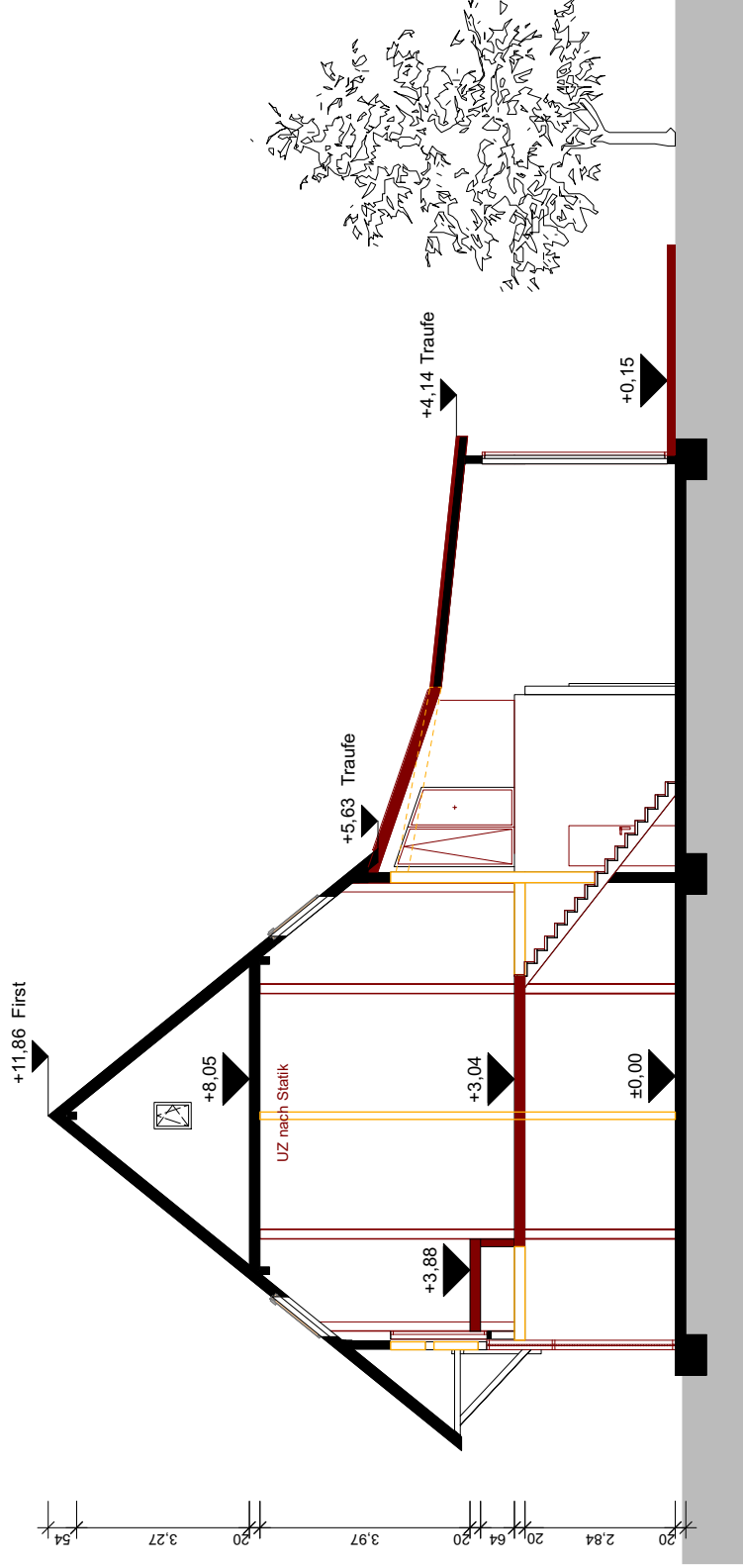
**Neckarhalde 6**  
72070 Tübingen

Tel.: 07071 - 859 7 259  
info@buehlerundpartner.de

Tübingen,

..... Planverfasser: .....

HEG 3D.vwk



# BAUANTRAG

Projekt:

Umbau eines bestehenden  
Wohnhauses mit Scheune,  
Musterstraße XX  
XXXXX Musterstadt

Bauherr:

Proj.-Nr.:

19-12-16

Datum:

11.05.2022

Plan.-Nr.:

07

Maßstab:

1:100

Stufe:

BA

Bearbeiter:

wob

Planninhalt:

Ansicht Nord

Planung:

**Bühler + Partner**

Dipl. Ing. FH Wolfgang Bühler  
Dipl. Ing. FH Jochen Schneider

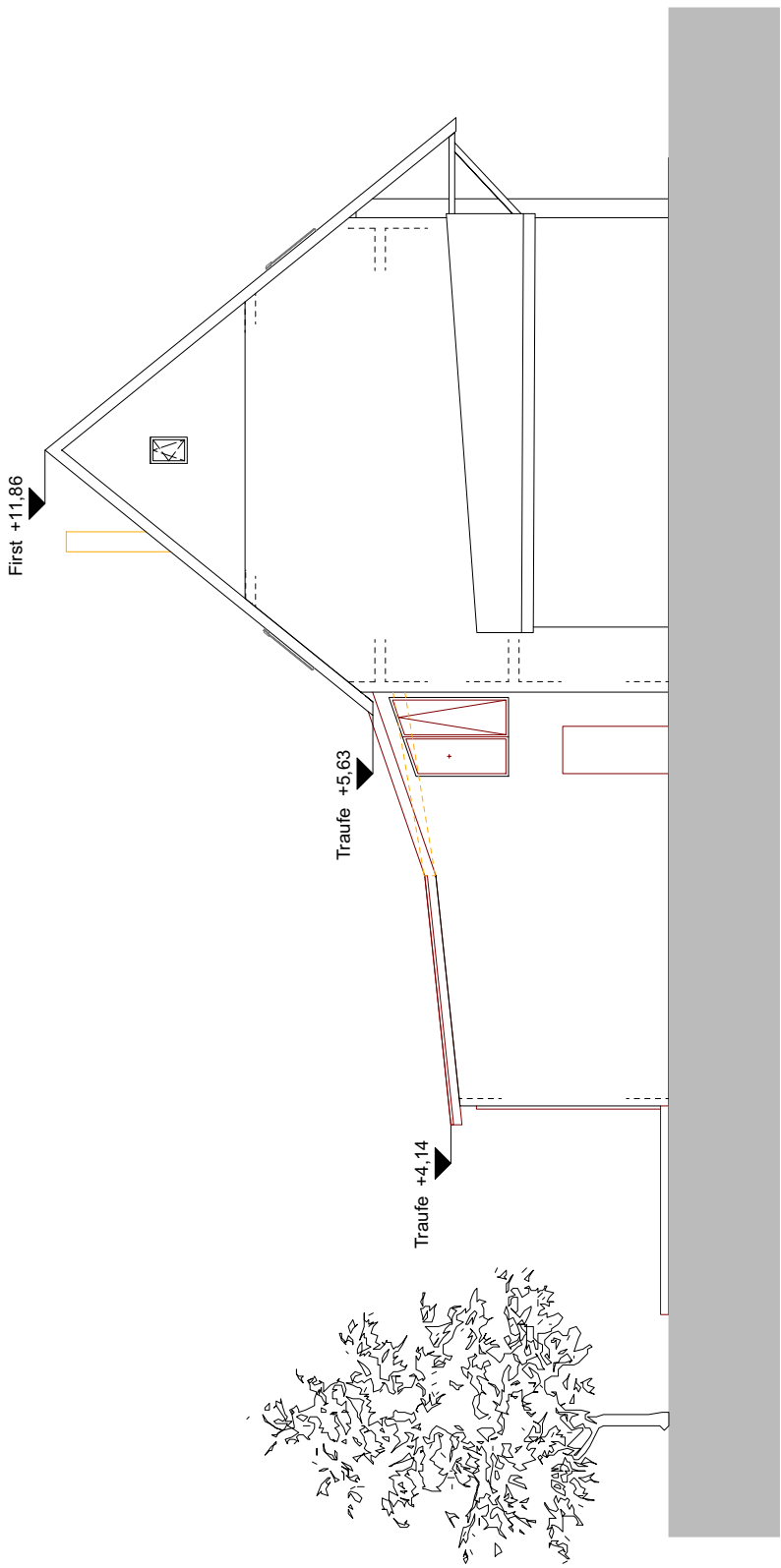
Neckarhalde 6  
72070 Tübingen

Tel: 07071 - 859 7 259  
info@buehlerundpartner.de

Tübingen,

.....  
Planverfasser: .....

HEG 3D.vwk



# BAUANTRAG

Projekt:

Umbau eines bestehenden  
Wohnhauses mit Scheune,  
Musterstraße XX  
XXXXX Musterstadt

Bauherr:

Proj.-Nr.:

19-12/16

Datum:

11.05.2022

Plan.-Nr.:

08

Maßstab:

1:100

Stufe:

BA

Bearbeiter:

wob

Plannedhalt:

## Ansicht Süd

Planung:

**Bühler + Partner**  
Dipl. Ing. FH Wolfgang Bühler  
Dipl. Ing. FH Jochen Schneider

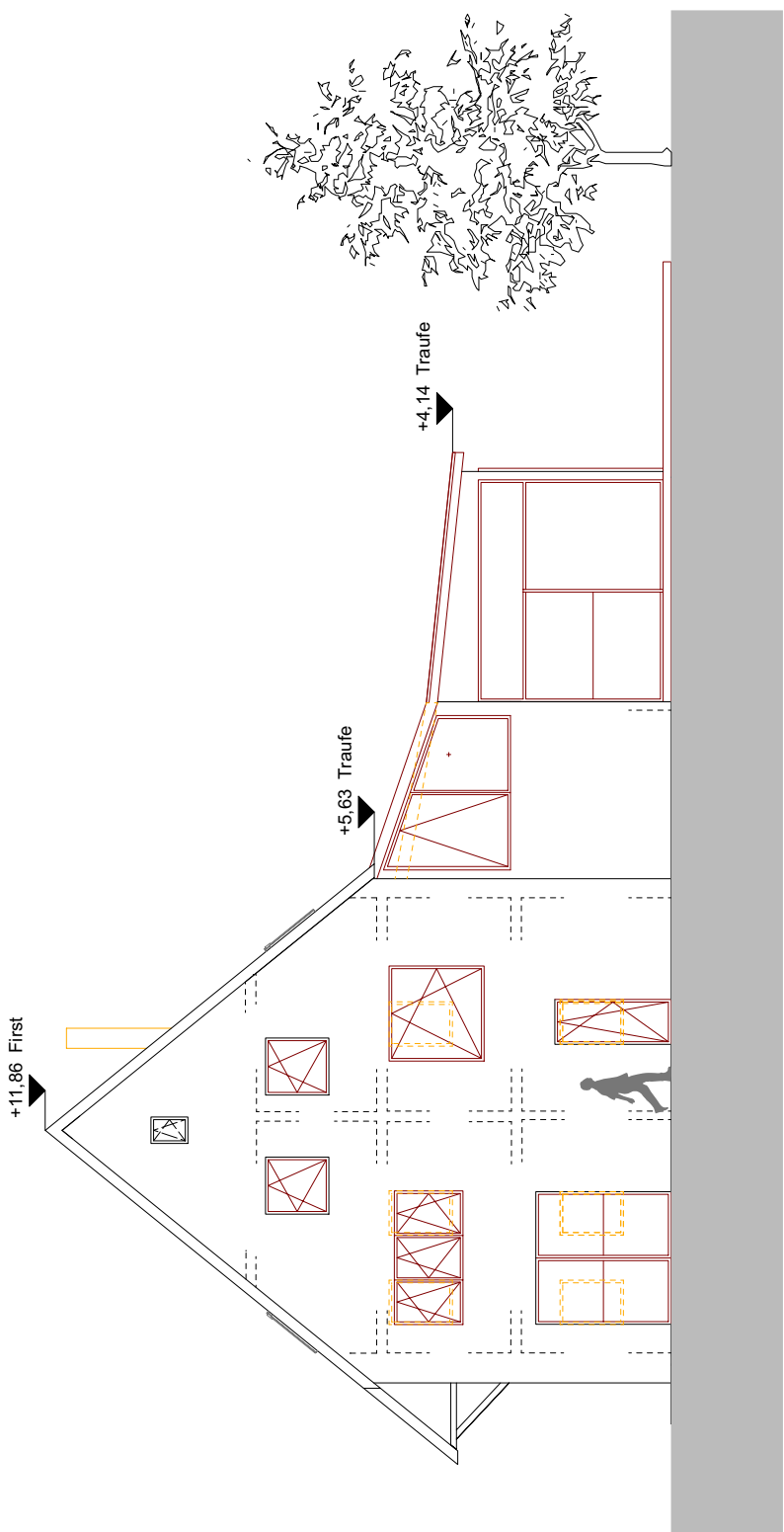
**Neckarhalde 6**  
72070 Tübingen

Tel: 07071 - 859 7 259  
info@buehlerundpartner.de

Tübingen,

..... Planverfasser: .....

HEG 3D.vwk



# BAUANTRAG

Projekt:

Umbau eines bestehenden  
Wohnhauses mit Scheune,  
Musterstraße XX  
XXXXX Musterstadt

Bauherr:

Proj.-Nr.:

19-1216

Datum:

11.05.2022

Plan.-Nr.:

09

Maßstab:

1:100

Stufe:

BA

Bearbeiter:

wob

Planinhalt:

## Ansicht Ost

Planung:

**Bühler + Partner**

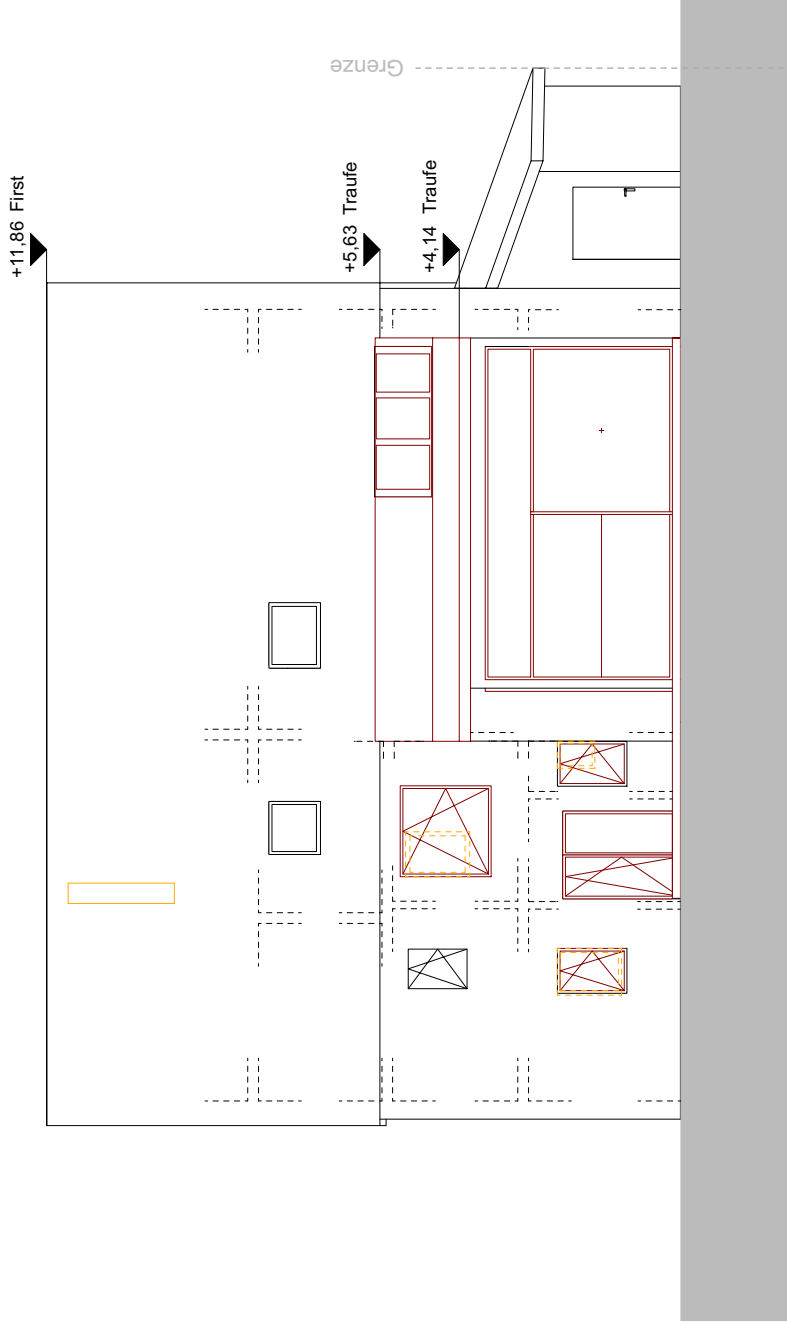
Dipl. Ing. FH Wolfgang Bühler  
Dipl. Ing. FH Jochen Schneider

Neckarhalde 6  
72070 Tübingen

Tel: 07071 - 859 7 259  
info@buehlerundpartner.de

Tübingen,

Planverfasser:



# BAUANTRAG

Projekt:

Umbau eines bestehenden  
Wohnhauses mit Scheune,  
Musterstraße XX  
XXXXX Musterstadt

Bauherr:

Proj.-Nr.:

19-1216

Datum:

11.05.2022

Plan.-Nr.:

10

Maßstab:

1:100

Stufe:

BA

Bearbeiter:

wob

Planimhalt:

## Ansicht West

Planung:

**Bühler + Partner**

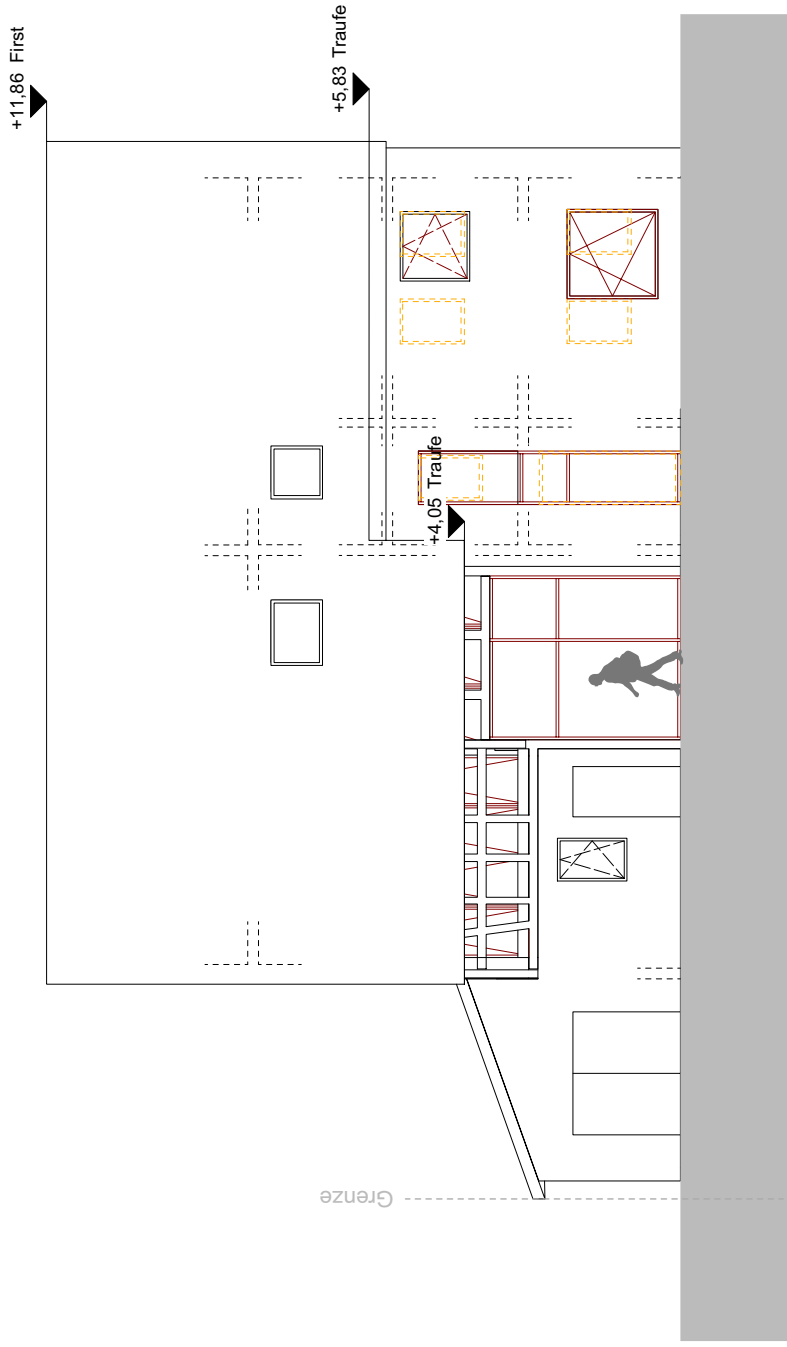
Dipl. Ing. FH Wolfgang Bühler  
Dipl. Ing. FH Jochen Schneider

Neckarhalde 6  
72070 Tübingen

Tel: 07071 - 859 7 259  
info@buehlerundpartner.de

Tübingen,

Planverfasser:



# BAUANTRAG

Projekt:

Umbau eines bestehenden  
Wohnhauses mit Scheune,  
Musterstraße XX  
XXXXX Musterstadt

Bauherr:

Proj.-Nr.:  
19-12/16

Datum:  
11.05.2022

Plan.-Nr.:  
11

Maßstab:  
1:100/1:200

Stufe:  
BA

Bearbeiter:  
wob

Plannedhalt:

## Isometrie

Planung:

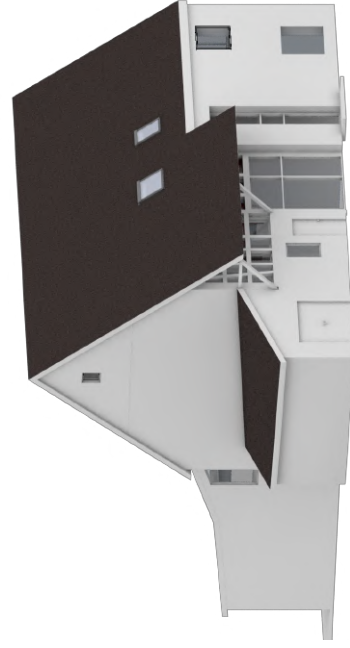
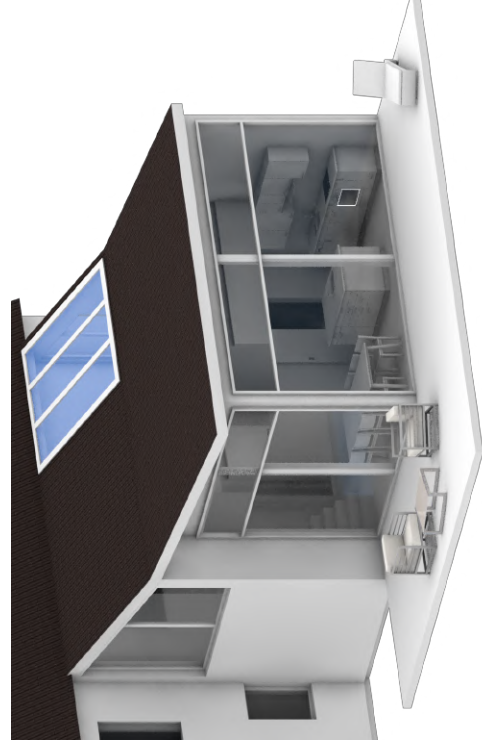
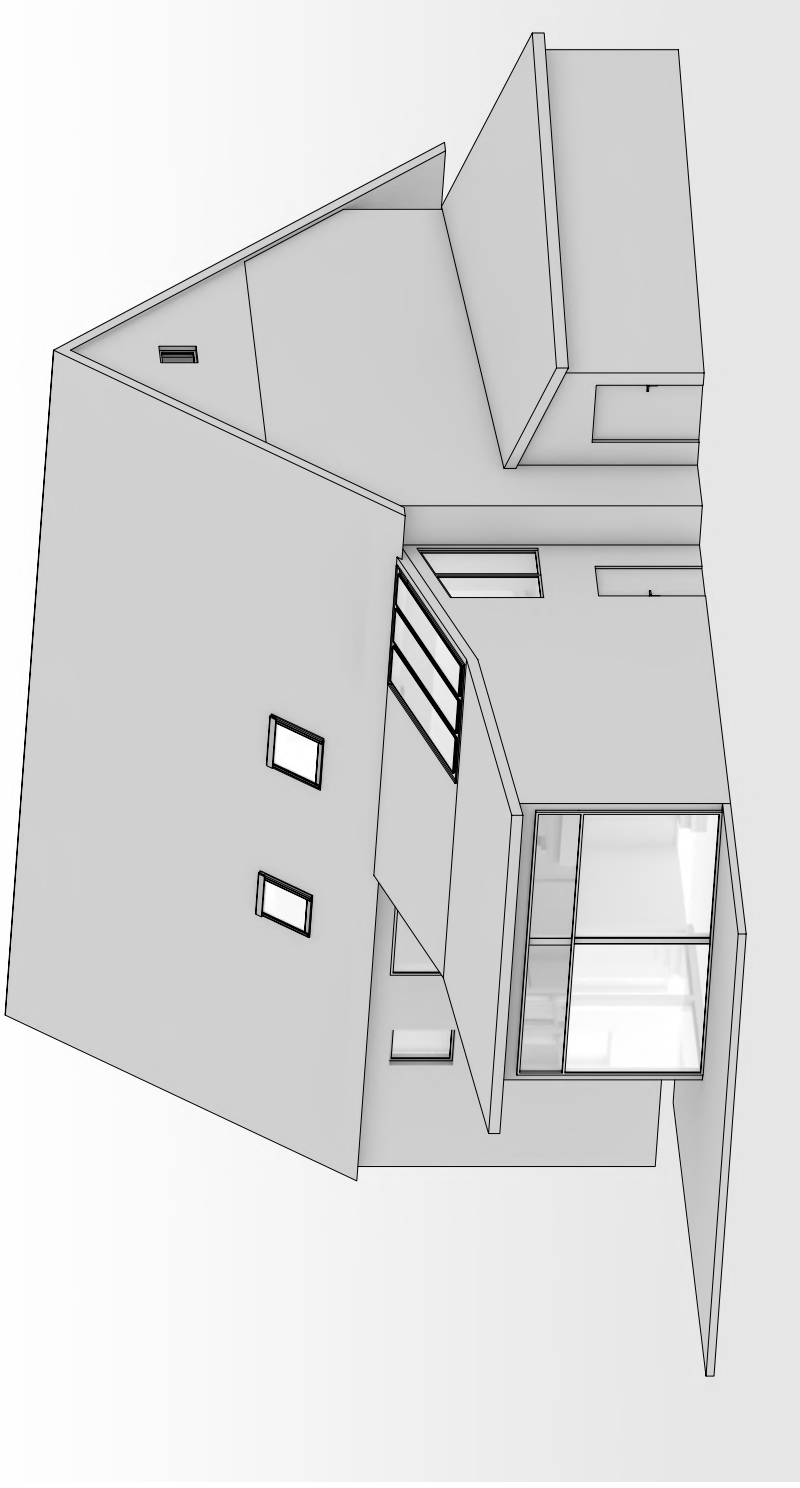
**Bühler + Partner**  
Dipl. Ing. FH Wolfgang Bühler  
Dipl. Ing. FH Jochen Schneider

**Neckarhalde 6**  
72070 Tübingen  
Tel: 07071-859 7 259  
info@buehlerundpartner.de

Tübingen,

.....  
Planverfasser:

HEG 3D.vwk





# Abkürzungsverzeichnis

|       |  |
|-------|--|
| 2D    | Zweidimensional  |
| 3D    | Dreidimensional  |
| 4D    | Vierdimensional  |
| 5D    | Fünfdimensional  |
| 6D    | Sechsdimensional   |
| AR    | Augmented Reality  |
| AEC/O | Architectural, Engineering, Construction, Operation                |
| BIM   | Building Information Modeling                                      |
| BKI   | Baukosteninformationszentrums Deutscher Architektenkammer          |
| B-rep | Boundary representation  |
| BMVI  | Deutsches Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur |
| CAD   | Computer Aided Design  |
| CAAD  | Computer Aided Architectural Design                                |
| CAE   | Computer Aided Engineering   |
| CAM   | Computer Aided Manufacturing                                       |
| CATIA | Computer Aided Three-Dimensional Interactive Application           |
| CAx   | Computer Aided x   |

|        |   |
|--------|---|
| CSG    | Constructive solid modelling                        |
| DIN    | Deutsches Institut für Normung                      |
| DWG    | Drawing   |
| DXF    | Drawing Interchange File Format                     |
| HOAI   | Honorarordnung für Architekten und Ingenieure       |
| HWR    | Hauswirtschaftsraum                                 |
| I-DEAS | Integrated Design and Engineering Analysis Software |
| IFC    | Industry Foundation Classes                         |
| IEEE   | Institute of Electrical and Electronic Engineers    |
| LPH    | Leistungsphase                                      |
| MBO    | Musterbauordnung                                    |
| MIT    | Massachusetts Institute of Technology               |
| OKFB   | Oberkante Fertigfußboden                            |
| OKFD   | Oberkante Fertigdecke                               |
| OKRB   | Oberkante Rohboden                                  |
| OpenGL | Open Graphics Library                               |
| PDF    | Portable Document Format                            |
| PTC    | Parametric Technology Corporation                   |
| UKFD   | Unterkante Fertigdecke                              |
| VR     | Virtual Reality                                     |

# Literaturverzeichnis

- [And17] ANDRÉ, Pilling ; NORMUNG E.V., Deutsches I. (Hrsg.): *BIM - Das digitale Miteinander: Planen, Bauen und Betreiben in neuen Dimensionen*. Berlin : Beuth Verlag GmbH, 2017. – ISBN 978-3-410-27327-1
- [AT12] ALBERTI, Leon B. ; THEURER, Max: *Zehn Bücher über die Baukunst*. Leipzig : Heller Verlag, 1912. – ISBN 978-3-534-07171-5
- [BKI21a] BKI: *BKI Baukosten Altbau 2021*. Stuttgart : Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammer, 2021. – ISBN 978-3-948683-14-6
- [BKI21b] BKI: *BKI Baukosten Neubau 2021*. Stuttgart : Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammer, 2021. – ISBN 978-3-948683-29-0
- [BKK21] BORRMANN, Andre ; KÖNIG, Markus ; KOCH, Christian ; BEETZ, Jakob (Hrsg.): *Building Information Modeling. Technologische Grundlagen und industrielle Praxis*. 2. Auflage. Wiesbaden : Springer Vieweg, 2021. – ISBN 978-3-658-33360-7
- [Boh20] BOHLE, Anne K.: Digitalisierung. Potenzial für den Wohnungsbau. In: *Die Wohnungswirtschaft* 73 (2020), S. 22-23. <https://www.haufe.de/download/die-wohnungswirtschaft-ausgabe-102020-wohnungswirtschaft-526318.pdf>. – Abgerufen: 30.06.2022
- [BR22] BITKOM ; RESEARCH, Bitkom: *Bitkom Digital Office Index 2020*. [https://www.bitkom.org/sites/default/files/2020-10/201012\\_studienbericht\\_doi-2020\\_v11\\_final-1.pdf](https://www.bitkom.org/sites/default/files/2020-10/201012_studienbericht_doi-2020_v11_final-1.pdf). Version: Oktober 2022. – Abgerufen: 30.06.2022
- [DD16] DIN, e.V. (Hrsg.) ; DVA (Hrsg.): *VOB Gesamtausgabe. Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen Teil A (DIN 1960), Teil B (DIN 1961), Teil C (ATV)*. Berlin : Beuth Verlag, 2016. – ISBN 978-3-410-61293-3
- [Fal98] FALLON, Kristine K.: Early computer graphics developments in the architecture, engineering and construction industry. In: *IEEE Annals of the History of Computing* 20 (1998), Nr. 2

- [Fis08a] FISCHER, Bernard ; DAKOURI-HILD, Anastasia (Hrsg.): *Beyond illustration. 2D and 3D digital technologies as tools for discovery in archaeology*. Oxford : Archaeopress, 2008. – ISBN 978-1-407-30292-8
- [Fis08b] FISCHER, Günther: *Bauwelt Fundamente*. Bd. 141: *Vitruv NEU oder Was ist Architektur?* Birkhäuser, 2008. – ISBN 978-3-764-38805-8
- [Fis18] FISCHER, Günther ; NEITZKE, Peter (Hrsg.): *Bauwelt Fundamente*. Bd. 152: *Architekturtheorie für Architekten. Die theoretischen Grundlagen des Faches Architektur*. Basel-Boston-Berlin : Birkhäuser, 2018. – ISBN 978-3-035-61895-2
- [FL10] FANG, Hua ; LIU, Jianjian: Some thoughts on Computer Aided Design in the graphic composition teaching. In: *2010 IEEE 11th International Conference on Computer-Aided Industrial Design: Conceptual Design 1* (2010), S. 733–736. <http://dx.doi.org/10.1109/CAIDCD.2010.5681246>. – DOI 10.1109/CAIDCD.2010.5681246
- [GB16] GESCHÄFTSSTELLE BAU, Wirtschaftskammer Österreich: *Building Information Modeling*. [www.wko.at/branchen/gewerbehandwerk/bau/BIM-Broschuere.pdf](http://www.wko.at/branchen/gewerbehandwerk/bau/BIM-Broschuere.pdf). Version: Juni 2016. – Abgerufen: 30.06.2022
- [Gmb19] GMBH, PricewaterhouseCoopers: *Digitalisierung der deutschen Bauindustrie 2019*. <https://www.pwc.de/de/digitale-transformation/digitalisierung-der-deutschen-bauindustrie-2019.pdf>. Version: 2019. – Abgerufen: 30.06.2022
- [Gä20] GÄNSHIRT, Christian: *Werkzeuge für Ideen. Einführung ins architektonische Entwerfen*. Basel : Birkhäuser, 2020. – ISBN 978-3-035-62173-0
- [Gü20] GÜNTHER, Wolfgang: Digitale Bestandserfassung durch 3D-Laserscan. In: *Die Wohnungswirtschaft* 73 (2020), S. 42-45. <https://www.haufe.de/download/die-wohnungswirtschaft-ausgabe-102020-wohnungswirtschaft-526318.pdf>. – Abgerufen: 30.06.2022
- [HB20] HEMMERLING, Marco ; BAEHRE, Boris: *Informierte Architektur. Building Information Modeling für die Architekturpraxis*. Birkhäuser, 2020. – ISBN 978-3-035-61902-7
- [Hen04] HENKEL, Thorsten: *Faktoren für alternative Entwurfsmethoden beim Einsatz digitaler Entwurfswerkzeuge in räumlich verteilten Arbeitsstrukturen*. Bauhaus-Universität Weimar, Dissertation, 2004. [https://e-pub.uni-weimar.de/opus4/frontdoor/deliver/index/docId/45/file/Henkel\\_pdfa.pdf](https://e-pub.uni-weimar.de/opus4/frontdoor/deliver/index/docId/45/file/Henkel_pdfa.pdf). – Abgerufen: 30.06.2022

- [HMBKK20] HELMUS, Prof. Dr.-Ing. M. ; MEINS-BECKER, PD Dr.-Ing.-habil. A. ; KELM, M. Sc. A. ; KRAX, M. Sc. N. t.: *Handlungsempfehlung zur Digitalen Bestandserfassung*. Wuppertal : Bergische Universität Wuppertal, 2020 [https://biminstitut.uni-wuppertal.de/fileadmin/biminstitut/Download-Bereich/3D-Laserscan\\_Handlungsempfehlung\\_Bestanderfassung/200401\\_HE\\_Laserscan\\_Handlungsempfehlung.pdf](https://biminstitut.uni-wuppertal.de/fileadmin/biminstitut/Download-Bereich/3D-Laserscan_Handlungsempfehlung_Bestanderfassung/200401_HE_Laserscan_Handlungsempfehlung.pdf). – Abgerufen: 30.06.2022
- [HMG<sup>+</sup>89] HURST, J. ; MAHONEY, M. S. ; GILMORE, J. T. ; ROBERTS, L. G. ; FORREST, R.: Retrospectives II. The early years in computer graphics at MIT, Lincoln Lab, and Harvard. (1989), S. 39–73. <http://dx.doi.org/10.1145/77276.77280>. – DOI 10.1145/77276.77280
- [hoa21] *HOAI 2021. Volltext der Aktuellen HOAI Online*. <https://www.hoai.de/hoai/volltext/hoai-2021/>. Version: Oktober 2021. – Abgerufen: 30.06.2022
- [HR02] HAVERSATH, Johann B. ; RATUSNY, Armin: Bauernhaustypen. In: FRIEDRICH, Klaus (Hrsg.) ; HAHN, Barbara (Hrsg.) ; POPP, Herbert (Hrsg.): *Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland. Dörfer und Städte* Bd. 5. Heidelberg : Springer Spektrum, 2002. – ISBN 978–3–827–40950–8
- [HR18] HESTERMANN, Ulf ; RONGEN, Ludwig: *Frick/Knöll Baukonstruktionslehre 2*. 35. Auflage. Wiesbaden : Springer Vieweg, 2018. – ISBN 978–3–658–21912–3
- [Inf15] INFRASTRUKTUR, Bundesministerium für Verkehr und d.: *Stufenplan Digitales Planen und Bauen*. [https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/stufenplan-digitales-bauen.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/stufenplan-digitales-bauen.pdf?__blob=publicationFile). Version: 2015. – Abgerufen: 30.06.2022
- [Jed08] JEDRZEJAS, Thomas: *Aufbau historischer städtischer 3D-Szenarien für eine Nutzung unter Google Earth, basierend auf Daten von terrestrischem Laserscanning, Photogrammetrie und Archivinformationen*. Hochschule Bochum, Diplomarbeit, 2008. [https://www.researchgate.net/publication/275348401\\_Aufbau\\_historischer\\_3D-Szenarien\\_am\\_Beispiel\\_der\\_mittelalterlichen\\_Stadt\\_Duisburg](https://www.researchgate.net/publication/275348401_Aufbau_historischer_3D-Szenarien_am_Beispiel_der_mittelalterlichen_Stadt_Duisburg). – Abgerufen: 30.06.2022
- [Kol08] KOLOSSOS: *Semperoper Dresden*. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dresden-Semperoper-gp.jpg>. Version: Oktober 2008. – Abgerufen: 30.06.2022
- [Kra20] KRAFT, Florian: Digitale Technologien verändern die Bauplanung. In: *Die Wohnungswirtschaft* 73 (2020), S. 46-49. <https://www.haufe.de/download/die-wohnungswirtschaft-ausgabe-102020-wohnungswirtschaft-526318.pdf>. – Abgerufen: 30.06.2022

- [Kre09] KREBS, Gerhild: Bauernhaustypen der Großregion Saar-Lor-Lux. Lothringisches Bauernhaus und Südwestdeutsches Bauernhaus. In: *Stätten grenzüberschreitender Erinnerung – Spuren der Vernetzung des Saar-Lor-Lux-Raumes im 19. und 20. Jahrhundert* 3. technisch überarbeitete Auflage (2009). <http://www.memotransfront.uni-saarland.de/pdf/bauernhaustypen.pdf>. – Abgerufen: 30.06.2022
- [LIM17] LEIMBÖCK, Egon ; IDING, Andreas ; MEINEN, Heiko: *Bauwirtschaft*. 3. Auflage. Wiesbaden : Springer Fachmedien GmbH, 2017. – ISBN 978–3–658–12953–8
- [LR18] LISSNER, Karin ; RUG, Wolfgang: *Holzbausanierung beim Bauen im Bestand*. Berlin : Springer Vieweg, 2018. – ISBN 978–3–662–50376–8
- [Lö97] LÖBL, Rudolf: *Techne I. Untersuchung zur Bedeutung dieses Wortes in der Zeit von Homer bis Aristoteles. Band I: Von Homer bis zu den Sophisten*. Würzburg : Königshausen und Neumann, 1997. – ISBN 978–3–826–01366–9
- [MC17] MCKINSEY ; COMPANY: *Reinventing Construction. A route to higher productivity*. Washington : McKinsey Global Institute, 2017 <https://pzb.com.pl/wp-content/uploads/2017/04/MGI-Reinventing-Construction-Full-report.pdf>. – Abgerufen: 30.06.2022
- [MH18] MOMBOUR, Moritz ; HENNINGS, Dirk ; DIN E.V., Jakob Przybylo (Hrsg.): *BIM - Einstieg Kompakt für Architekten*. Berlin : Beuth Verlag GmbH, 2018. – ISBN 978–3–410–26170–4
- [Mor98] MORIE, Jacquelyn: CGI training for the entertainment film industry. In: *Computer Graphics and Applications, IEEE* 18 (Februar 1998), S. 30–37. <http://dx.doi.org/10.1109/38.637268>. – DOI 10.1109/38.637268
- [Mü89] MÜLLER, Werner: *Architekten in der Welt der Antike*. Leipzig : Köhler und Amelang, 1989. – ISBN 978–3–733–80096–3
- [NA94] NASO, P.O. ; ALBRECHT, M. von: *Metamorphosen: lateinisch/deutsch*. Ditzingen : Reclam, 1994. – ISBN 3–15–001360–7
- [Ne18] NORMUNG E.V., Deutsches I.: *DIN276-1:2018-12. Kosten im Bauwesen*. Berlin, 2018
- [Neu15] NEUFERT, Ernst: *Bauentwurfslehre*. 41. Auflage. Wiesbaden : Springer Vieweg, 2015. – ISBN 978–3–658–09938–1
- [Pah90] PAHL, Gerhard: *Konstruieren mit 3D-CAD-Systemen: Grundlagen, Arbeitstechnik, Anwendungen*. Berlin : Springer, 1990. – ISBN 978–3–540–52234–8

- [PEMW90] PLATO ; EIGLER, Gunther ; MÜLLER, Hieronymus ; WIDDRA, Klaus ; EIGLER, Gunther (Hrsg.): *Platon. Werke in acht Bänden*. Darmstadt : Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 1990. – ISBN 978-3-534-19095-9
- [PF91] POLLIO, Marcus V. ; FENSTERBUSCH, Dr. C.: *Vitruv. Zehn Bücher über Architektur*. 5. Auflage. Darmstadt : Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 1991. – ISBN 3-534-01121-X
- [Pfa97] PFAMMATTER, Ulrich: *Die Erfindung des modernen Architekten*. Basel-Boston-Berlin : Birkhäuser, 1997. – ISBN 376-4-35473-9
- [Prz17] PRZYBYLO, Jakob ; PRZYBYLO, Jakob (Hrsg.): *BIM in der Anwendung. Beispiele und Referenzen*. 1. Auflage. Berlin : Beuth Verlag GmbH, 2017. – ISBN 978-3-410-26815-4
- [Ric98] RICHARDS, Julian D.: Recent trends in computer applications in archaeology. In: *Journal of Archaeological Research* 6 (1998), Nr. 4, S. 331–382. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1022879819064>. – DOI 10.1023/A:1022879819064
- [Rob63] ROBERTS, Lawrence G.: *Machine perception of three-dimensional soups*. Massachusetts Institute of Technology, Dissertation, 1963. <https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/11589/33959125-MIT.pdf>. – Abgerufen: 30.06.2022
- [RR54] RÖSSING, Roger ; RÖSSING, Renate: *Portrait eines Bauchzeichners am Reißbrett*. <https://www.deutschefotothek.de/documents/obj/88902600>. Version: 1954. – Abgerufen: 30.06.2022
- [RS03] RAPHAEL, Benny ; SMITH, Ian F. C.: *Fundamentals of Computer-Aided Engineering*. Swiss Federal Institute of Technology, Lausanne : John Wiley and Sons, 2003. – ISBN 978-0-471-48709-8
- [Sam16] SAMUELES: *Florenz Italien Kuppel*. <https://pixabay.com/de/photos/florenz-italien-kuppel-toscana-dom-1133602/>. Version: Januar 2016. – Abgerufen: 30.06.2022
- [Sch76] SCHMID, Hansjörg: Das oberschwäbische Bauernhaus und seine Darstellung im Freilichtmuseum Kürnbach. In: *Denkmalpflege in Baden-Württemberg* 5 (1976), Nr. 3, S. 100–111. <http://dx.doi.org/10.11588/nbdpfbw.1976.3>. – DOI 10.11588/nbdpfbw.1976.3
- [Sch93] SCHMITT, Gerhard N.: *Architectura et Machina*. Braunschweig/Wiesbaden : Vieweg und Sohn Verlagsgesellschaft mbH, 1993. – ISBN 978-3-528-08822-4
- [Sch96] SCHMITT, Gerhard N.: *Architectura cum Machina*. Wiesbaden : Vieweg und Teubner Verlag, 1996. – ISBN 978-3-528-08135-5

- [Sch16] SCHREYER, Marcus ; PRZYBYLO, Jakob (Hrsg.): *BIM - Einstieg kompakt für Bauunternehmer. Bim-Methoden in der Bauausführung*. Berlin : Beuth Verlag GmbH, 2016. – ISBN 978–3–410–25702–8
- [Sch21] SCHOLZ, Stefan: *Baukosten sicher ermitteln - mit Praxisbeispiel Mehrfamilienhaus*. Wiesbaden : Springer Vieweg, 2021. – ISBN 978–3–658–33960–9
- [Shi96] SHIH, Naai-Jung: A study of 2D- and 3D-oriented architectural drawing production methods. In: *Automation in Construction* 5 (1996), Nr. 4, S. 273–283. [http://dx.doi.org/10.1016/S0926-5805\(96\)00152-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0926-5805(96)00152-5). – DOI 10.1016/S0926-5805(96)00152-5
- [Ste05] STEPHAN, Klaus ; EBERING, Isabelle (Hrsg.): *Studien zur Konstruktion der Domkuppel in Florenz*. Lübeck : Fotografie Architektur, 2005 [http://www.fotografie-architektur.de/material/Florenz\\_Domkuppel\\_\(Klaus\\_Stephan+\\_Isabelle\\_Ebering\\_2005\).pdf](http://www.fotografie-architektur.de/material/Florenz_Domkuppel_(Klaus_Stephan+_Isabelle_Ebering_2005).pdf). – Abgerufen: 30.06.2022
- [Ste17] STENZEL, Horst: *Die Entwicklung der Computergraphik und ihr Einsatz bei der digitalen Architekturrekonstruktion*. Technische Hochschule Köln, 2017 <https://epb.bibl.th-koeln.de/frontdoor/deliver/index/docId/1123/file/Technikgeschichte-3-wAbstract.pdf>. – Abgerufen: 30.06.2022
- [Sut63] SUTHERLAND, Ivan E.: *Sketchpad. A man-machine graphical communication system*. Massachusetts Institute of Technology, Dissertation, 1963. <http://worrydream.com/refs/Sutherland-Sketchpad.pdf>. – Abgerufen: 30.06.2022
- [SWBZ09] SANDOR, Vajna ; WEBER, Christian ; BLEY, Helmut ; ZEMAN, Klaus: *CAX für Ingenieure. Eine praxisbezogene Einführung*. 2. Auflage. Berlin : Springer, 2009. – ISBN 978–3–540–36039–1
- [Thu04] THUROW, Dipl. Inf. T.: *Digitaler Architekturbestand. Untersuchungen zur computergestützten, schrittweisen Erfassung und Abbildung der Geometrie von Gebäuden im Kontext der planungsrelevanten Bauaufnahme*. Weimar, Dissertation, 2004. [https://e-pub.uni-weimar.de/opus4/frontdoor/deliver/index/docId/140/file/Dissertation\\_Endfassung\\_pdfa.pdf](https://e-pub.uni-weimar.de/opus4/frontdoor/deliver/index/docId/140/file/Dissertation_Endfassung_pdfa.pdf). – Abgerufen: 30.06.2022
- [UNE20] UNEP: *2020 global status report for buildings and construction. towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector*. Nairobi : United Nations Environment Programme, 2020 [https://globalabc.org/sites/default/files/inline-files/2020%20Buildings%20GSR\\_FULL%20REPORT.pdf](https://globalabc.org/sites/default/files/inline-files/2020%20Buildings%20GSR_FULL%20REPORT.pdf). – Abgerufen: 30.06.2022



- [VB06] VASARI, Giorgio ; BURIONI, Matteo ; BURIONI, Matteo (Hrsg.): *Giorgio Vasari. Einführung in die Künste der Architektur, Bildhauerei und Malerei*. Berlin : Klaus Wagenbach, 2006. – ISBN 978–3–803–15032–5
- [Win72] WINCKELMANN, Johann J.: *Geschichte der Kunst des Altertums*. Darmstadt : Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 1972. – ISBN 353–4–06456–9
- [WK11] WENZHI, Zhang ; KETAI, He: Architecture design of CAD platform. In: *2011 6th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications* (2011), S. 1468–1473. <http://dx.doi.org/10.1109/ICIEA.2011.5975821>. – DOI 10.1109/ICIEA.2011.5975821
- [Zec92] ZECHNER, Christoph: *Architekturhacker im virtuellen Raum*. ASC Preis '92. Wiesbaden : Architektenkammer Hessen, 1992

